

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Športová hala z materiálov na báze dreva

Sport hall made of wooden-based materials

Študent:

Bc. Anna Paurová

Vedúci diplomovej práce:

doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Anna Paurová**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb
Téma: Sportovní hala z materiálů na bázi dřeva
Sport hall made of wooden – based materials
Jazyk vypracování: slovenština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce vypracujte:

1. Vypracujte stručnou rešerši nosných systémů sportovních hal z materiálů na bázi dřeva.
2. Navrhněte dispoziční řešení sportovní haly s dřevěnou nosnou konstrukcí a s příslušným zázemím. Dispozice haly musí vyhovovat vybraným míčovým sportům (např. florbal). Výkresy (půdorys, řezy, pohledy, detaily) zpracujte ve vhodném měřítku.
3. Navrhněte tři varianty nosného systému haly z materiálů na bázi dřeva.
4. Pro zvolenou optimální variantu zpracujte návrh a posouzení vybraných rozhodujících nosných prvků a spojů, včetně ztužení haly a možného způsobu založení.
5. Posuďte požární odolnost rozhodujících nosných prvků.
6. Navrhněte způsob montáže nosného systému haly.

Seznam doporučené odborné literatury:

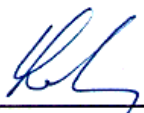
- 1) ČSN EN 1995-1-1: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- 2) ČSN EN 1995-1-2: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- 3) Blass, H. J. a kol.: Dřevěné konstrukce podle EUROKÓDU 5. STEP 1. Navrhování a konstrukční materiály. Vydal Koželouh, B. – KODR Zlín, 1998.
- 4) Blass, H. J. a kol.: Dřevěné konstrukce podle EUROKÓDU 5. STEP 2. Navrhování detailů a nosných systémů. Vydal Informační centrum ČKAIT, 2004.
- 5) Natterer, J. O. et al., Holzbau Atlas, Birkhauser – Verlag für Architektur, 2003, Basel, Schweiz, ISBN 3-7643-6984-1
- 6) Příručka 1 a 2, <http://fast10.vsb.cz/temtis/cz>, 2008.
- 7) Dřevostavby a dřevěné konstrukce I. a II. díl, CERM Akademické nakladatelství Brno, 2010.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.**

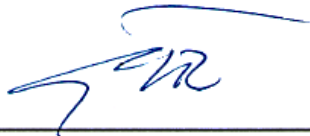
Datum zadání: 28.02.2018

Datum odevzdání: 30.11.2018



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry






prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu, vrátane príloh, vypracovala samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a uviedla som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave 30. 11. 2018
.....


.....
podpis študenta

Prehlasujem, že:

- bola som oboznámená s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, obzvlášť § 35 – využitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a využitie diela školského a § 60 – školské dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo nezárobkovo ku svojej vnútornej potrebe diplomovú prácu využiť (§ 35 odst. 3).
- Súhlasím s tým, že údaje o diplomovej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo zjednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavriem licenčnú zmluvu s oprávnením využiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bolo zjednané, že využiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade od mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorení diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave

30. 11. 2018



podpis študenta

Anotácia

Diplomová práca sa zaoberá vypracovaním nosného systému športovej haly z materiálov na báze dreva. Z troch navrhnutých variant zastrešenia, pre halu s dispozičným riešením prispôbeným pre loptové športy, bolo zvolené najoptimálnejšie riešenie a spracovaný návrh a posúdenie nosných prvkov a spojov, vrátane možného spôsobu založenia a stuženia haly. Pre rozhodujúce nosné prvky bola posúdená ich požiarne odolnosť. Posudok bol realizovaný podľa noriem ČSN EN. Súčasťou práce je aj spôsob montáže nosného systému haly, výkresová dokumentácia a prehľad nosných systémov športových hál z materiálov na báze dreva.

Kľúčové slová

športová hala, nosný systém, konštrukčný systém, lepené lamelové drevo, návrh, posudok, nosný prvok, spoj, výpočet, zaťaženie

Annotation

The diploma thesis deals with the elaborate of the load-bearing system of a sports hall made of wood-based materials. From the three proposed roofing variants, for the hall with a layout adapted to ball sports, the most optimal solution was chosen and elaborated a proposal and assessment of the supporting elements and joints, including the possible way of setting up and stiffening. The fire resistance was assessed for the selected supporting elements. The assessment was carried out according to valid ČSN EN standards. Part of the thesis is also the way of assembly of the supporting system of the hall, drawing documentation and overview of bearing systems of sports halls made of wood-based materials.

Keywords

sports hall, load-bearing system, construction system, glued laminated wood, design, assessment, supporting element, joint, calculation, load

Obsah

Zoznam použitých skratiek a symbolov	3
1 ÚVOD	7
2 PREHLAD NOSNÝCH SYSTÉMOV ŠPORTOVÝCH HÁL	8
2.1 Vážnikový nosný systém	8
2.1.1 Plnostenné vážniky	8
2.1.2 Priehradové vážniky.....	10
2.2 Rámový nosný systém	12
2.3 Oblúkový nosný systém.....	14
3 DISPOZIČNÉ RIEŠENIE ŠPORTOVEJ HALY	17
3.1 Návrh dispozičného riešenia.....	17
4 NAVRHNUTÉ VARIANTY NOSNÉHO SYSTÉMU	19
4.1 Návrh I.....	19
4.2 Návrh II.....	21
4.3 Návrh III	23
5 CHARAKTERISTIKA ZVOLENEJ VARIANTY.....	25
5.1 Geometrické vlastnosti	25
5.2 Materiálové vlastnosti.....	26
6 VÝPOČET ZAŤAŽENIA.....	28
6.1 Zaťaženie stále.....	28
6.2 Zaťaženie úžitkové	29
6.3 Zaťaženie premenné	29
6.3.1 Sneh.....	29
6.3.2 Vietor	30
6.4 Výpočet pomocou programu SCIA Engineer 17.1.....	36
7 NÁVRH A POSÚDENIE NOSNÝCH PRVKOV	37
7.1 Vážnica	37

7.2	Rozpera	41
7.3	Vzpera (stĺp)	47
7.4	Väzník.....	52
7.5	Štítový stĺp.....	61
7.6	Drevené stužidlo	67
7.7	Fasádna rozpera (Paždík).....	70
7.8	Oceľové tiahlo	77
8	NÁVRH A POSÚDENIE SPOJOV	79
8.1	Spoj rozpera – väzník (1).....	79
8.2	Spoj väznica – väzník (2)	82
8.3	Spoj väzník – vzpera (3).....	83
8.4	Spoj väzník – tiahlo (4)	87
8.5	Spoj väzník – ŽB stĺp (5).....	90
8.6	Spoj vzpera – ŽB päťka (6).....	95
8.7	Spoj vzpera – pažďík (7).....	101
8.8	Spoj pažďík – drev. stužidlo (8).....	103
9	POŽIARNA ODOLNOSŤ NOSNÝCH PRVKOV.....	106
9.1	Väzník.....	106
9.2	Vzpera (stĺp)	110
10	MONTÁŽNY POSTUP NOSNÉHO SYSTÉMU HALY	113
11	ZÁVER.....	114
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	116
	ZOZNAM OBRÁZKOV.....	118
	ZOZNAM PRÍLOH	122

Zoznam použitých skratiek a symbolov

Písmená veľkej latinskej abecedy

A	plocha prierezu [mm ²]
A_{ef}	účinná plocha prierezu [mm ²]
A_{fi}	zbytková plocha prierezu pri požiarnej situácii [mm ²]
C_e	súčiniteľ expozície
C_t	tepelný súčiniteľ
DHF	difúzne otvorená drevovláknitá doska
E	modul pružnosti [MPa]
F_{US}	únosnosť strmeňa v strihu [MPa]
F_{UT}	únosnosť strmeňa v ťahu [MPa]
$F_{t,Rd}$	návrhová osová únosnosť spojovacieho prostriedku [kN]
$F_{v,Rd}$	návrhová priečna únosnosť spojovacieho prostriedku [kN]
$G_{k,j}$	charakteristická hodnota j -tého stáleho zaťaženia
I_v	intenzita turbulencie
$I_y; I_z$	moment zotrvačnosti k ose y/z [mm ⁴]
$I_{y,fi}; I_{z,fi}$	moment zotrvačnosti k ose y/z pri požiarnej situácii [mm ⁴]
LC	zaťažovací stav
LLD	lepené lamelové drevo
L_{cr}	vzperná dĺžka pre vybočenie prvku [mm]
$M_{d,fi}$	redukovaná hodnota ohybového momentu pri požiarnej situácii [kNm]
M_{Ed}	návrhová hodnota ohybového momentu [kNm]
$M_{y,Rk}$	plastický moment únosnosti [Nmm]
MSP	medzný stav použiteľnosti
$MSÚ$	medzný stav únosnosti
NC	kombinácia zaťaženia
N_{Ed}	návrhová hodnota normálovej sily [kN]
$N_{fi,d}$	redukovaná hodnota normálovej sily pri požiarnej situácii [kN]
$Q_{k,i}$	charakteristická hodnota i -tého premenného zaťaženia
V_{Ed}	návrhová hodnota posúvajúcej sily [kN]
$W_y; W_z$	prierezový modul k ose y/z [mm ³]
$W_{y,fi}; W_{z,fi}$	prierezový modul k ose y/z pri požiarnej situácii [mm ³]

Písmená malej latinskej abecedy

a	účinná výška zvaru [mm]
a_1	rozstup spojovacích prostriedkov rovnobežne s vláknami [mm]
a_2	rozstup spojovacích prostriedkov kolmo k vláknam [mm]
$a_{3,c}$	vzdialenosť spojovacieho prostr. od nezat'áženého konca [mm]
$a_{3,t}$	vzdialenosť spojovacieho prostriedku od zat'áženého konca [mm]
$a_{4,c}$	vzdialenosť spojovacieho prostr. od nezat'áženého okraja [mm]
$a_{4,t}$	vzdialenosť spojovacieho prostriedku od zat'áženého okraja [mm]
b	šírka prierezu [mm]
b_{ef}	účinná šírka prierezu [mm]
b_{fi}	zbytková šírka prierezu pri požiari [mm]
c_{dir}	súčiniteľ smeru vetra
c_0	súčiniteľ ortografie
c_{pe}	súčiniteľ vonkajšieho tlaku vetra
c_{pi}	súčiniteľ vnútorného tlaku vetra
c_{season}	súčiniteľ ročného obdobia
c_r	súčiniteľ drsnosti
d	priemer spojovacieho prostriedku [mm]
$d_{char,n}$	nominálna hĺbka zuhoľnatenia prvku [mm]
d_{def}	účinná hĺbka zuhoľnatenia [mm]
$f_{c,0,d}$	návrhová pevnosť v tlaku rovnobežne s vláknami [MPa]
$f_{c,0,fi,d}$	pevnosť v tlaku rovnobežne s vláknami pri požiari [MPa]
$f_{c,90,d}$	návrhová pevnosť v tlaku kolmo na vlákna [MPa]
f_{cd}	návrhová pevnosť betónu v tlaku [MPa]
f_d	návrhová hodnota pevnostnej vlastnosti [MPa]
$f_{m,k}$	charakteristická pevnosť v ohybe [MPa]
$f_{m,d}$	návrhová pevnosť v ohybe [MPa]
$f_{m,fi,d}$	návrhová pevnosť v ohybe pri požiarnej situácii [MPa]
$f_{t,0,k}$	charakteristická pevnosť v ťahu rovnobežne s vláknami [MPa]
$f_{t,0,d}$	návrhová pevnosť v ťahu rovnobežne s vláknami [MPa]
$f_{t,0,fi,d}$	pevnosť v ťahu rovnobežne s vláknami pri požiari [MPa]
f_u	medza pevnosti [MPa]
$f_{v,d}$	návrhová pevnosť v šmyku [MPa]

$f_{v,fi,d}$	návrhová pevnosť v šmyku pri požiarnej situácii [MPa]
f_y	medza klzu [MPa]
g_k	charakteristická hodnota stáleho zaťaženia [kN/m]
h	výška prierezu [mm]
h_{fi}	zbytková výška prierezu pri požiari [mm]
i_y, i_z	polomer zotrvačnosti k ose y/z [mm]
$i_{y,fi}, i_{z,fi}$	polomer zotrvačnosti k ose y/z pri požiarnej situácii [mm]
$k_{c,90}$	súčiniteľ zohľadňujúci usporiadanie zaťaženia, deformácie
k_{cr}	súčiniteľ trhlín pre únosnosť v šmyku
$k_{c,y}, k_{c,z}$	súčiniteľ vzperu
k_{def}	súčiniteľ dotvarovania
k_I	súčiniteľ turbulencie
k_m	súčiniteľ zohľadňujúci redistribúciu napätia v priereze
k_{mod}	modifikačný súčiniteľ pre vlhkosť a trvanie zaťaženia
$k_{mod,fi}$	modifikačný súčiniteľ pre požiar pre vlhkosť a trvanie zaťaženia
k_r	súčiniteľ terénu
k_{crit}	súčiniteľ priečnej a torznej stability
k_y, k_z	súčiniteľ vzpernosti
l	dĺžka prvku [mm]
l_{ef}	účinná dĺžka prvku [mm]
q_k	charakteristická hodnota úžitkového zaťaženia [kN/m]
q_p	charakteristický maximálny dynamický tlak vetra [kN/m ²]
s	hodnota zaťaženia ne/naviatym snehom [kN/m]
s_k	charakteristická hodnota zaťaženia snehom [kN/m ²]
t	hrúbka prvku; doba vystavenia účinkom požiaru [mm]
t_{pen}	hlbka vniku spojovacieho prostriedku [mm]
$v_{b,0}$	predvolená základná rýchlosť vetra [m/s]
v_b	základná rýchlosť vetra [m/s]
v_m	stredná rýchlosť vetra [m/s]
w_{inst}	okamžitý prieťah [mm]
w_{fin}	konečný prieťah [mm]
w_k	charakteristická hodnota zaťaženia vetrom [kN/m]
z_0	parameter drsnosti terénu
$z_{0,II}$	parameter drsnosti terénu pre kategóriu II

z_{min} minimálna výška

Písmená gréckej abecedy

α	sklon [°]
α_1, α_2	sklon strechy v pozdĺžnom smere [°]
β_c	súčiniteľ prímosti
β_j	súčiniteľ vplyvu podliatia
β_n	nominálna rýchlosť zuhoľňatenia pre drevo [mm/min]
γ	merná hmotnosť [kg/m ²]
γ_M	súčiniteľ vlastnosti materiálu
$\gamma_{M,fi}$	súčiniteľ vlastnosti materiálu pri požiari
$\gamma_{G,j}$	súčiniteľ j -tého stáleho zaťaženia
$\gamma_{Q,i}$	súčiniteľ i -tého premenného zaťaženia
$\bar{\lambda}$	pomerná štihlosť
λ_y, λ_z	štihlostný pomer odpovedajúci ohybu okolo osy y/z
$\lambda_{rel,m}$	pomerný štihlostný pomer ohybu pri klopení
λ_{rel}	pomerný štihlostný pomer odpovedajúci ohybu
μ_l	tvarový súčiniteľ zaťaženia ne/naviatym snehom
ρ_k	charakteristická hustota [kg/m ³]
$\sigma_{c,0,d}$	návrhové napätie v tlaku rovnobežne s vláknami [MPa]
$\sigma_{c,0,fi,d}$	návrhové napätie v tlaku rovnobežne s vláknami pri požiari [MPa]
$\sigma_{c,90,d}$	návrhové napätie v tlaku kolmo k vláknam [MPa]
$\sigma_{m,crit}$	kritické napätie pri klopení
$\sigma_{m,d}$	návrhové napätie v ohybe [MPa]
$\sigma_{m,fi,d}$	návrhové napätie v ohybe pri požiari [MPa]
$\sigma_{t,0,d}$	návrhové napätie v ťahu rovnobežne s vláknami [MPa]
$\sigma_{t,0,fi,d}$	návrhové napätie v ťahu rovnobežne s vláknami pri požiari [MPa]
τ_d	návrhové napätie v šmyku [MPa]
$\tau_{d,fi}$	návrhové napätie v šmyku pri požiari [MPa]
η_{fi}	redukčný súčiniteľ zaťaženia pri požiarnej situácii
ψ	súčiniteľ pro kombinačnú hodnotu premenného zaťaženia

1 ÚVOD

Športové haly v súčasnosti sú častokrát riešené viacúčelovo, čo znamená, že slúžia nielen ako zastrešenie pre prevádzku športoviska ale aj pre účely spoločenské. Práca sa zaoberá takouto športovou halou, ktorá sa okrem kolektívnych loptových športov môže využiť aj na spoločenské či iné kultúrne činnosti.

Z hľadiska voľby medzi materiálmi bolo pre riešenie konštrukciu určené drevo, ktoré vyniká svojou originalitou, je ekologické s dlhou životnosťou a spĺňa aj náročné požiadavky na estetiku. Diplomová práca je rozdelená do kapitol podľa jednotlivých bodov zo zadania práce.

Hlavná časť diplomovej práce sa venuje návrhu a statickému posudku jednotlivých prvkov a spojov nosného systému drevenej športovej haly. Pre zvolené dispozičné riešenie objektu, sú navrhnuté tri varianty nosného systému, z ktorých je pre ďalší návrh a posudok prvkov a spojov, zvolená jedna verzia. Inšpiráciou pri návrhoch jednotlivých variant boli nosné systémy halových stavieb, ktoré sú spracované v úvodnej časti práce.

Pri modelovaní konštrukcie a výpočte jej vznikajúcich vnútorných síl a deformácií je použitý program SCIA Engineer 17.1. Statický posudok je spracovaný pre všetky prvky a spoje konštrukcie, s dôrazom na ich vyhovenie v medznom stave únosnosti aj v medznom stave použiteľnosti, podľa platných noriem ČSN EN. Súčasťou práce je aj posudok požiarnej odolnosti na rozhodujúcich nosných prvkoch haly a návrh spôsobu montáže konštrukčného systému.

2 PREHLAD NOSNÝCH SYSTÉMOV ŠPORTOVÝCH HÁL

Vo výstavbe drevených konštrukcií sa, okrem konštrukcií krovov, najčastejšie navrhujú halové objekty. Tie sa z hľadiska voľby nosného systému odlišujú charakteristickými znakmi ako dispozičné a výškové usporiadanie stavby, klimatické podmienky (umiestnenie stavby) a veľkosť zaťaženia, ďalej druh použitého materiálu a použitých spojov, a celkové architektonické riešenie, ktoré bezprostredne závisí na zvolenom nosnom systéme. V podkapitolách uvedených nižšie sú popísané základné konštrukčné systémy halových stavieb z materiálov na báze dreva a tiež ukážky ich využitia na už stojacich objektoch.

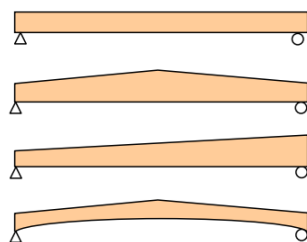
2.1 Väzníkový nosný systém

Väzníkový nosný systém je jednoduchý typ zastrešenia drevených konštrukcií. Je vhodný pre stavby s jednoduchým dispozičným riešením a s rozpätím do 30 m, avšak priaznivý je len do sklonu strechy 30°. Prináša úsporné riešenie, pretože jeho hlavnou výhodou je úspora použitého dreva. Takáto konštrukcia je teda, s ohľadom na svoje rozpätie, pomerne ľahká, čím nie sú kladené veľké nároky na nosnosť základov. Prvky väzníku sa tiež vyznačujú rýchlosťou výroby a jednoduchosťou montáže na mieste určenia. Väzníky sa pokládajú na zvislé nosné podpory, ktoré tvoria buď stĺpy alebo steny. Priestorová stabilita tohto systému sa zaisťujú zavetrovacími stužujúcimi prvkami.

Väzníky sa ďalej delia na dva typy. Prvý typ, plnostenné väzníky, je klasická metodika, ktorá v porovnaní s druhým typom väzníkov ponúka estetickjšie a variabilnejšie riešenie. Druhý typ predstavuje modernejšie priehradové väzníky, ktoré sú naopak oveľa pevnejšie a efektívnejšie [14].

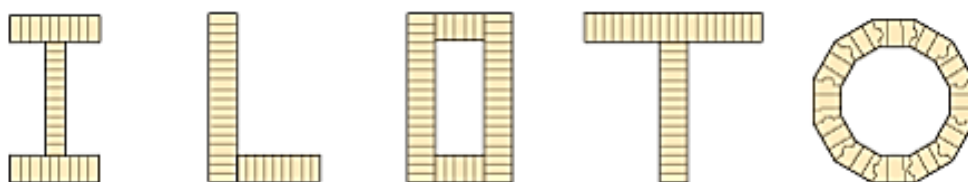
2.1.1 Plnostenné väzníky

Vonkajšia zostava základných drevených plnostenných nosníkov sa môže líšiť. Vyrábajú sa väzníky priame, sedlové, sedlové so spodným zakrivením a pultové (obr. 1). Prierezy týchto väzníkov sa môžu vyskytovať v drevenom celku (napr. obdĺžnikový hranený trám) alebo môžu byť jednotlivé časti prierezu zbíjané či lepené do konečného tvaru prierezu, tzv. zložený prierez.



Obrázok 1: Základné tvary nosníkov [10]

Pre športové haly, ktoré sa vyznačujú veľkými rozpätiami, sa predovšetkým využívajú zložené prierezy lepené, vzhľadom na ich väčšiu únosnosť a odolnosť, a to konkrétne z dreva lepeného lamelového. Z takéhoto typu dreva, v závislosti od požadovanej pevnosti a tuhosti konštrukcie, sa vyrábajú rozličné tvary prierezov. Najčastejšie sa používajú obdĺžnikové, ktoré môžu mať výšku až 2 m. Ďalšie typické príklady prierezov sú znázornené na obr. 2 [9], [10].



Obrázok 2: Typy prierezov z LLD [11]

- **Mestská športová hala v Plzni**

Táto hala bola postavená v roku 2007 v Plzni na Slovanoch. Jedná sa o najväčšiu športovú plochu na západe Čiech. Hala je obdĺžnikového pôdorysu s kapacitou pri konaní akcií cca 1660 divákov (1260 sediacich, 400 stojacich). Strešnú konštrukciu haly (obr. 3) tvoria lepené drevené väzníky sedlového tvaru, ich spodná hrana je v oblúku. Najväčšia výška väzníkov sa nachádza v ich strednej časti a to 2,75 m. Jednotlivé väzníky sú od seba osovo vzdialené každých 6 m. Priestorovú tuhosť zaisťujú drevené lepené stužidlá s oceľovými tiahľami (obr. 3). V súčasnosti je táto hala po rekonštrukcii, kde sa drevené väzníky nahradili oceľovými v kombinácii so železobetónovými stĺpmi, z dôvodu nesplnenia bezpečného prenášania zaťaženia, ktoré bolo predpísané platnými normami [15].



Obrázok 3: Športová hala v Plzni [15]

2.1.2 Priehradové väzníky

Priehradové väzníky sú väzníky s ľahkou drevenou priehradovou konštrukciou. Je to prútová sústava, ktorá sa skladá z horného a dolného pásu a z medzipásových prútov, čo sú zvislice a diagonály. Sústava je rovinná. Keďže je konštrukcia sama o sebe ľahká, umožňuje prenášanie zaťaženia do rozpätia až 30 metrov, a to bez nutnosti stredových stĺpov či stredových stien. Je úspornejšia aj z hľadiska materiálu, či už samotného dreva použitého na väzníky alebo betónu pri zakladaní. Konštrukcia väzníku sa vyznačuje tiež jednoduchou a rýchlou montážou. Jej charakteristickým spojovacím prostriedkom je styčnická doska (doska s prelisovanými trnmi), čiže spojnica dvoch alebo viacerých prútov. Pokiaľ sa ale jedná o pohľadové priehradové väzníky, styčnické dosky môžu pôsobiť rušivým dojmom, preto sa ako spojovací prostriedok používajú aj klinec či svorníky. Priehradové väzníky umožňujú pomedzi svoje

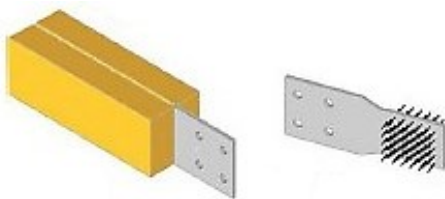
medzipásové prúty, takisto aj jednoduché vedenie potrubných rozvodov, čím minimálne narušujú interiér haly [9], [16].

- **Športová hala RADOSTOVA Luhačovice**

Stavba športovej haly je postavená v Luhačovicích v areáli Radost. Je navrhnutá univerzálne pre rôzne športy s kapacitou pre cca 400 divákov. Zastrešenie hlavného priestoru haly je riešené priehradovými väzníkmi MKD stužené oceľovými tiahkami. Väzníky MKD sú v interiéri priznané (podhľad je pri hornom páse), preto na ich povrchu nie sú vidieť žiadne spojovacie prostriedky, ktoré by inak narúšali celkový dojem interiéru. Spoje jednotlivých drevených prvkov, pri týchto väzníkoch, sú spojovacie dosky MKD (obr. 5). Tieto dosky sú 10 mm hrubé, a na oboch stranách majú privarené klince. Tým, že sú z oboch strán chránené drevom, dosahujú vyššiu požiaru odolnosť. Zvislé nosné konštrukcie haly sú oceľové a betónové [16].



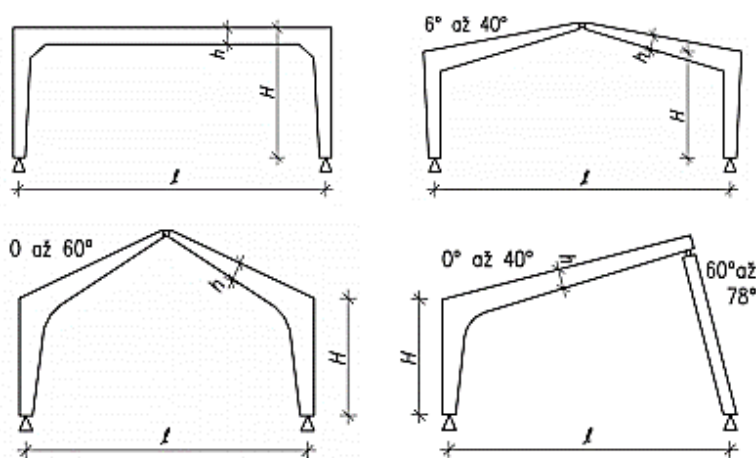
Obrázok 4: Športová hala RADOSTOVA Luhačovice [16]



Obrázok 5: Spoj - MKD systém [16]

2.2 Rámový nosný systém

Haly s rámovým nosným systémom, sú konštrukcie určené pre vytvorenie veľkopriestorových stavieb. Sú preto vhodné pre priestory ako telocvične či športové objekty, ale aj rôzne výrobné haly. Väčšinou sa navrhujú symetricky s rozpätím od 15 m do 60 m. Ich charakteristickým znakom je rámový roh, vďaka ktorému sú ohybové momenty v strede rozpätia rámu menšie (v porovnaní proste podopretým nosníkom). Rámový roh je tuhý spoj, v ktorom je priečľa, ktorú tvorí strešný nosník, votknutá do stojky. Môže byť zostavený rôznymi spôsobmi (kruhovú záchytku, zubovitý styk či zahnutý, ktorý sa približuje k oblúku). Strešný nosník, sa rovnako ako pri väzníkovom nosnom systéme, navrhuje plnostenný alebo priehradový a môže byť priamy, mierne naklonený alebo zahnutý (obr. 6) [10], [11].



Obrázok 6: Rám priamy, naklonený, zahnutý

Rámy sa odlišujú podľa počtu kĺbov. Sú známe rámy dvojklbové a trojklbové. Dvojklbové rámy majú kĺby len podporách a preto majú väčšiu tuhosť. Rámy trojklbové, s prídavným kĺbom vo vrchole, sú zas vhodnejšie pri návrhu kvôli jednoduchšej výrobe a preprave. Sú menej citlivé na pokles podpôr.

- **Telocvičňa pri 1. ZŠ v Jičine**

Školská telocvičňa v Jičine bola postavená v roku 2010. V objekte sa nachádza hlavná sála, telocvičňa a sály pre športovú gymnastiku a box. Na streche tohto športoviska je navrhnuté ďalšie ihrisko, kvôli ktorému pôsobí na nosnú konštrukciu veľké výpočtové zaťaženie. Nosnú konštrukciu preto tvoria pomerne masívne prvky dvojklbového rámu z lepeného lamelového dreva. Priečľa rámu má hrúbku 240 mm a stĺpy 120 mm. Tie sú zložené z dvoch nosných častí, medzi ktorými je vložený lepený profil.

Lepené drevené trámy, ktoré sú umiestnené medzi jednotlivými nosnými rámami, tvoria nosnú dosku (obr. 7). Uložené sú v osoých vzdialenostiach po 1,25 m. Osadené sú tak, že ich horná hrana a priečľa rámu tvoria rovinu. Samotnú dosku tvoria dve vrstvy OSB dosiek hrúbky 22 mm, na sebe uložené šachovnicovo [15].



Obrázok 72: Rámová konštrukcia telocvične v Jičine [15]

Priečľa je spolu so stĺpom spojená dvojstrižnými svorníkmi, ktoré majú priemer 20 mm. Sú kruhovo usporiadané do troch sústredných kruhov (obr. 8).

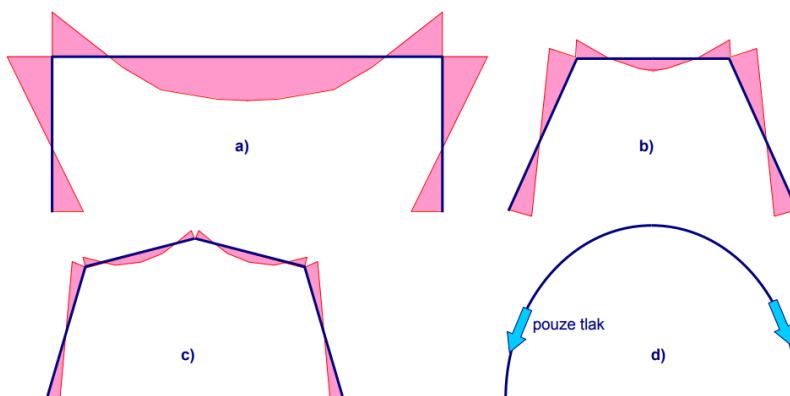


Obrázok 8: Telocvičňa v Jičíne - rámový spoj [15]

2.3 Oblúkový nosný systém

Pri návrhu halových stavieb, sa bežne používajú aj nosné oblúkové systémy a to až pre rozpätia od 30 do 110 m. Rovnako ako rámy, tak aj oblúky môžu byť dvojklbové či trojklbové, často s výškovo premenným prierezom. Trojklbové sa najčastejšie používajú pri rozpätí od 60 do 70 m a v porovnaní s dvojklbovými sa vyznačujú rýchlejšou montážou a lepším chovaním pri nerovnomernom sadaní. Na dvojklbových oblúkoch sa pri väčších rozpätiach, kvôli výrobe a doprave, musia vyhotoviť aj montážne spoje. Pri styku so základom a pri styku vo vrcholovom kĺbe sa používajú oceľové dosky. Oblúk môže byť uložený aj ako votknutý, kedy má lepšie statické využitie prierezu ale zároveň sa viac namáha konštrukcia pod vplyvom sadania a objemových zmien.

Oblúky patria do konštrukčných sústav, ktoré sú namáhané prevažne tlakom. Obr. 9 znázorňuje prechod z ohýbanej (rámovej) konštrukcie do konštrukcie tlačenej (oblúkovej) [11].



Obrázok 9: a) rám, b) rozkročenie stojok, c) zalamovanie priečle, d) oblúk [11]

- **Športová hala v Bílovci**

Stavba športovej haly, s obdĺžnikovým pôdorysom 60 x 30 m, a hracou plochou 40 x 20 m, bola zrealizovaná v roku 2001 s kapacitou pre cca 400 divákov. Nosnú konštrukciu tvoria trojklbové priehradové oblúky s rozpätím 59,5 m., ktoré sú v interiéri haly vizuálne priznané. Vyrobené sú z rasteného dreva a uložené v osovej vzdialenosti 5,5 m. Priestorovú stabilitu jednotlivých oblúkov, zaisťujú priehradové pozdĺžne a priečne stužidlá. Priehradovú sústavu tvoria prúty, ktoré sú pomocou klincov pripojené k oceľovým plechom v styčníkoch hrúbky 1 mm, vo viac namáhaných spojoch, k plechom hrúbky 6 mm. Oceľové plechy sú vložené do spojovaných výrezov. [17]



Obrázok 30: Hala v Bílovci – interiér, montážny stav [17]

Tak ako u prevažnej väčšiny stavieb s podobný typom nosnej konštrukcie, aj priehradové oblúky športovej haly sú ukotvené na základových betónových pätkách, pätným kĺbom (obr. 11).



Obrázok 41: Hala v Bílovci – detail pätného kĺbu [17]

3 DISPOZIČNÉ RIEŠENIE ŠPORTOVEJ HALY

Jednou z dôležitých vecí, ktoré treba pri návrhu športovej haly vziať do úvahy je jej dispozičné riešenie. Vhodné priestorové umiestnenie samotnej plochy pre šport a jej potrebného zázemia musí byť účelné a orientačne jednoduché, či už pre samotných športovcov, divákov alebo jej zamestnancov. V texte nižšie je popísané navrhnuté riešenie interiéru športovej haly. Návrh bol spracovaný na základe vyhlášky MZ SR č. 525/2007 Z. z. o požiadavkách na telovýchovno-športové zariadenia.

3.1 Návrh dispozičného riešenia

Riešenie športovej haly je postavené na jednoduchom rozčlenení objektu na dve hlavné časti, a to na jednopodlažnú časť haly so športovou plochou a dvojpodlažnú časť sociálno-technologického zázemia. Hala je navrhnutá tak, že môže slúžiť nielen ako telocvična pre žiakov základných či stredných škôl ale poskytuje aj dostatočnú arénu pre športy ako basketbal, volejbal či malý florbal alebo futsal. Na prvom podlaží zázemia sa nachádza menší športový priestor – malá posilňovňa alebo rozcvičovacia miestnosť, v ktorej sa môžu športovci pred zápasom rozcvičiť alebo žiaci škôl vykonávať kondičné posilňovanie. Na druhom podlaží je možnosť využitia rozľahlej tanečnej miestnosti, ktorá sa dá okrem výučby tanca využiť aj na gymnastiku či aerobik.

Športovci aj návštevníci vstupujú do objektu cez jeden hlavný vchod. Zamestnancom sú poskytnuté ďalšie dva vchody, a to jeden do plynomernej, a druhý do chodby prevádzky. Ďalej zo športovej haly vedú dva únikové východy.

Hlavným vstupom sa diváci a športovci dostávajú do vstupnej haly, kde sa ich cesty už rozchádzajú. Diváci samostatným vchodom vstúpia na tribúnu tvorenú dvoma radmi sedačiek pre 98 ľudí v športovej časti s výhľadom na ihrisko. Verejná toaleta pre divákov sa nachádza vo vstupnej hale. Vstup do záchodov, zvlášť pre ženy a zvlášť pre mužov, je cez predsienku s umývadlami. Súčasťou športovej plochy je náradňovňa, ktorá bude využívaná na skladovanie športového náčinia ako lopty, bránky či siete. Samotné športové ihrisko je navrhnuté s pôdorysnými rozmermi 26 x 14 metrov. V priestoroch vstupnej haly sa môžu umiestniť automaty na drobné občerstvenie či nápoje.

Športovci sa cez vstupnú halu dostanú do chodby sociálno-technologického zázemia. To pozostáva z dvoch šatní, z ktorých sa ďalej vstupuje cez predsieň s umývadlami do

záchodov a do umyvární. Vedľa šatní s kapacitou po 14 osôb, je navrhnutá malá posilňovňa. V zázemí sa ďalej nachádza šatňa pre trénerov alebo rozhodcov s vlastnou sprchou a záchodom, do ktorej sa vstupuje cez kabinet, ktorý bude vybavený aj posteľou s lekárničkou pre prípadné ošetrenie zranených. Miestnosť s výlevkou pre upratovačku a sklad sú umiestnené vedľa kotolne, ktorá spolu s plynomerňou zázemie uzatvára.

V priestoroch vstupnej haly má svoju miestnosť aj správca objektu. Vedľa tejto miestnosti sa nachádza dvojramenné schodisko vedúce do druhého poschodia. Druhé poschodie disponuje tanečnou sálou s rozlohou 113 m², ku ktorej prislúchajú takisto dve oddelené šatne po 14 osôb aj s príslušným sociálnym zariadením. Na poschodí sa nachádza aj šatňa pre učiteľov či trénerov so záchodom a sprchou, a klubovňa pre vedenie. Navrhnutá je aj ďalšia miestnosť pre upratovačku s výlevkou. Za tanečnou sálou ju umiestnená strojovňa vzduchotechniky pre výmenu vzduchu v športovej hale.

V hlavnej športovej sále sú navrhnuté vysoké okná v horných dvoch tretinách výšky podlažia, ktoré značia že sa jedná o vysoký jednopodlažný priestor športovej haly. Opatrené môžu byť špeciálnymi výplňami zabráňujúcimi prenikaniu priameho slnka, ktoré by inak oslepovalo športovcov.

Dispozičné riešenia obidvoch podlaží sú znázornené na výkresoch pôdorysov v prílohe 3. Uvedená príloha obsahuje aj výkresy rezu, detailov a pohľadov na navrhnutý objekt.

4 NAVRHNUTÉ VARIANTY NOSNÉHO SYSTÉMU

Pre vyššie popísané dispozičné riešenie, boli navrhnuté tri verzie nosného systému haly. Pre každú variantu je dispozičné riešenie haly rovnaké a odlišujú sa vždy inou voľbou konštrukčného riešenia nosného systému z kapitoly 2 (vážnik, rám, oblúk). Keďže bola snaha navrhnúť čo možno najnižšiu stavbu a pretože športová plocha nie je umiestnená uprostred haly a musela byť dodržaná minimálna výška nad hracou plochou sú z tohto dôvodu nosné konštrukcie jednotlivých variant navrhnuté štítovo nesymetricky. Navrhnuté nosné vážniky budú ďalej na pozdĺžnej strane haly popri zázemí kĺbovo osadené na stĺpoch zo železobetónu. Navrhnuté riešenia sú vymodelované programom SCIA Engineer 17.1 [12].

4.1 Návrh I

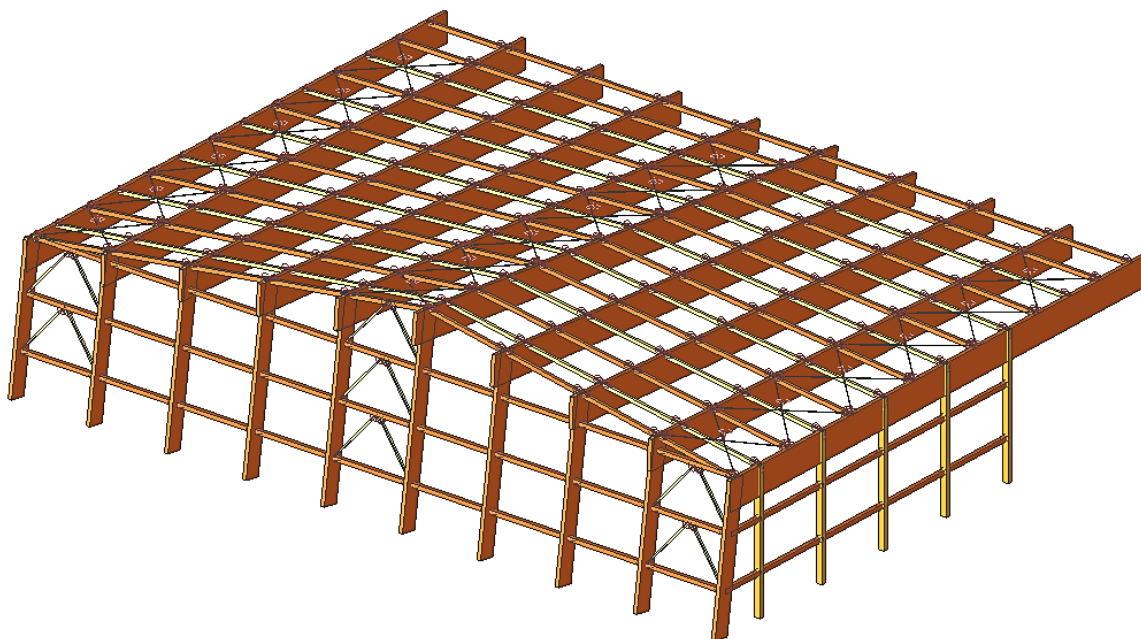
Táto konštrukcia je navrhnutá ako vážniková sústava. Základnými prvkami sú teda vážniky s dĺžkou 27,29 m jednostranne podopreté vzperami s kĺbovým uložením a medzi sebou osovo vzdialené po 4 m. Drevené vzpery sú naklonené o 9° od vertikálnej roviny. Vo výške 6,8 m sú na opačnej strane vážniky uložené na železobetónových stĺpoch. Po dĺžke športovej haly v priečnom smere sa postupne mení sklon vážnikov a takisto aj výška jednotlivých vzpier. Najdlhšia vzpera s dĺžkou 9,52 m podopiera vážnik s najväčším sklonom 6° . Ďalej sa smerom k štítom haly postupne znižuje sklon vážnikov na 0° a spolu s ním sa znižuje aj výška vzpier na 6,88 m. V pozdĺžnom smere je sklon strešnej konštrukcie 7° na dĺžke 20,17 m a 9° na dĺžke 16,21 m. Po šírke haly sa tieto sklony znižujú až na nulovú hodnotu.

Vážnice, ktoré sú medzi vážnikami v krokoch po 4 m nesú strešný plášť. Rozpery, ktoré sú umiestnené medzi vážnicami v osových vzdialenostiach takisto po 4 m zabezpečujú vážniky proti klopeniu. Horná úroveň vážnic aj rozpier lícuje s hornou hranou vážnika.

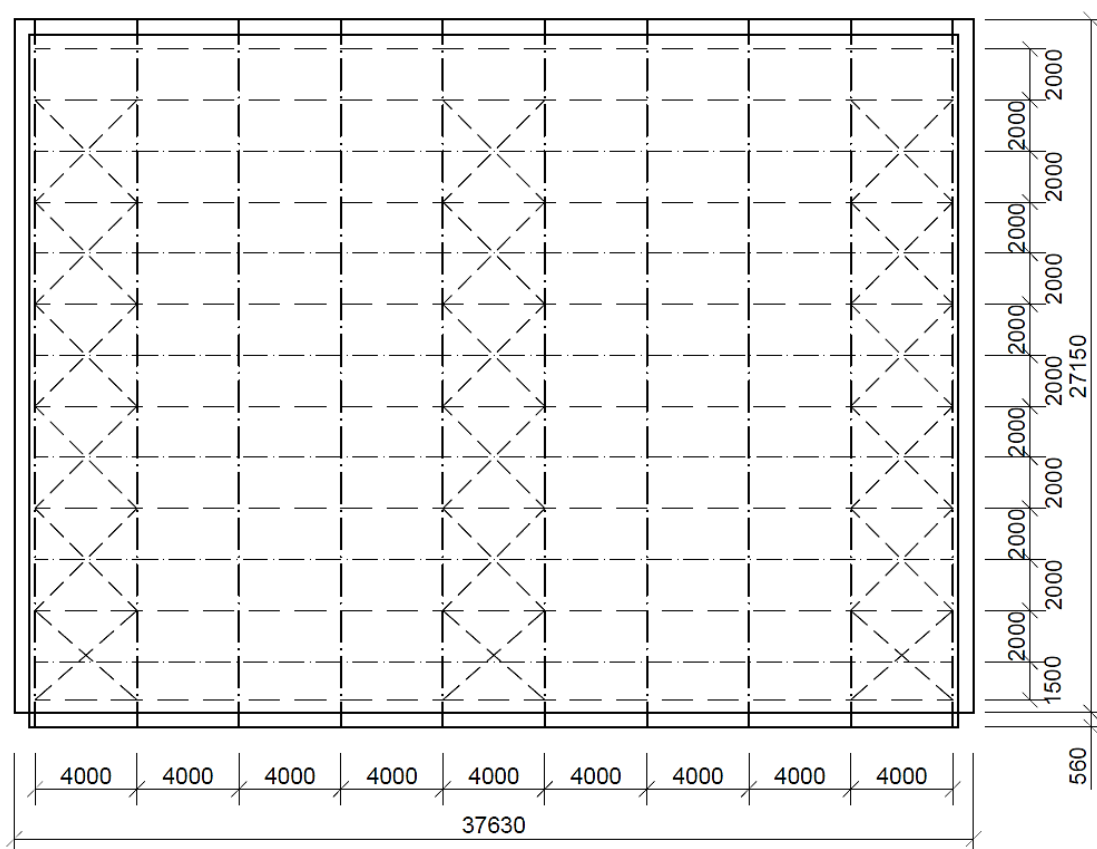
Stuženie haly v pozdĺžnom smere je riešené pomocou, už spomínaných, rozpier. Pod rozperami sú prichytené priečne stužidlá. Tie sú umiestnené v krajných a strednom poli strešného aj obvodového plášťa. V strešnom plášti sú namáhané len ťahom a v obvodovom plášti aj tlakom.

Na pozdĺžnej strane haly je vzperná dĺžka drevených vzpier skrátená rozdelením na približné tretiny výšky krajných vzpier pomocou stenových rozpier (paždíkov), na ktoré bude prichytený obvodový plášť, rovnako ako aj stĺpy v štíte haly. Tie sú namáhané len pozdĺžnymi silami od vetra a k vážniku sú pripojené kĺbovo. Nie sú súčasťou hlavnej nosnej konštrukcie.

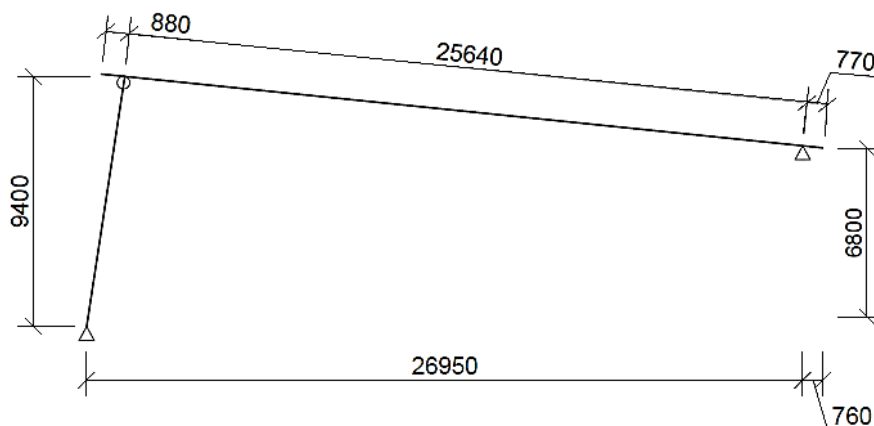
Materiál pre prvky nosnej konštrukcie je lepené lamelové drevo triedy GL28h a GL24h. Na konštrukcii bude použitá oceľ S355 a S460 pre kovové spoje a pre tiahlá.



Obrázok 12: Návrh I – model [12]



Obrázok 13: Návrh I – pôdorys



Obrázok 14: Návrh I - statická schéma

4.2 Návrh II

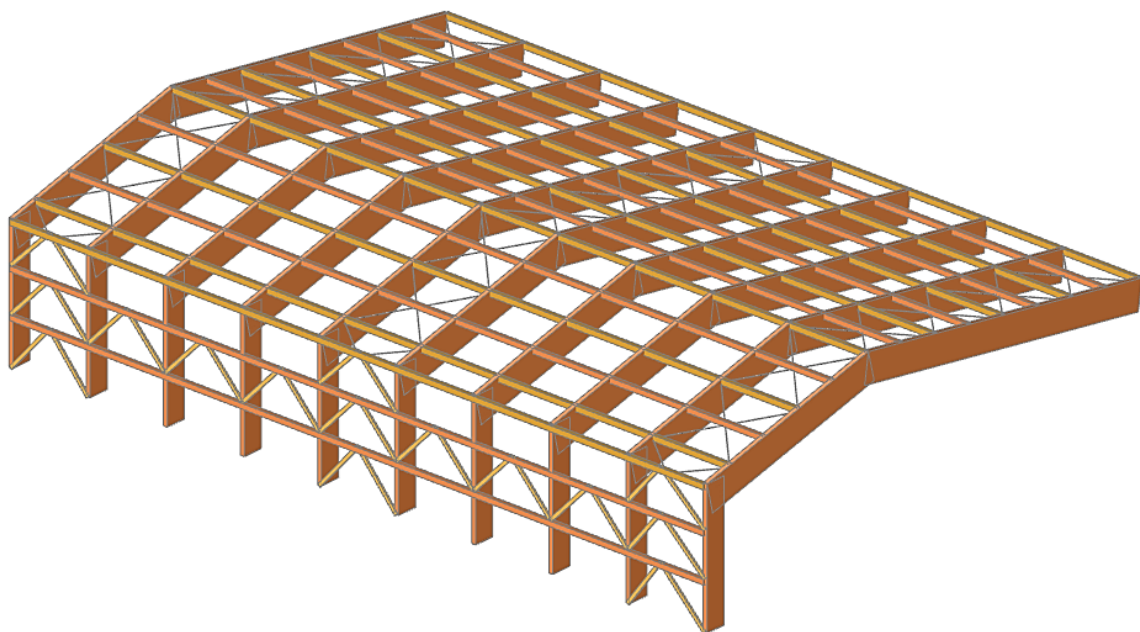
Konštrukčný systém tejto varianty tvorí desať priečlí sedlového tvaru s dĺžkou 28,3 m, ktoré sú s drevenými stĺpmi (stojkami) vysokými 6,4 m, jednostranne na pozdĺžnej strane haly, spojené rámovými rohmi. Tvorí tak takzvaný polorám. Na opačnej strane sú kĺbovo ukotvené do železobetónových stĺpov vo výške 5,9 m. Priečle polrámov tvoria zastrešenie sedlového tvaru s vrcholom, ktorý prebieha mimo stredovej osi haly. Samotná priečľa je tak tvorená dvomi sklonmi a to 10° na dĺžke 17,15 m a 12° na dĺžke 11,15 m. Vrchol sa nachádza vo výške 8,85 m (obr. 17). Drevené stojky polrámu sú ukotvené do betónového základu pomocou oceľového čapového spoja.

Medzi hlavnými strešnými prvkami sú prichytené väznice a rozperry, ktoré spolu nesú strešný plášť a sú dlhé 4 m, uložené striedavo v osovej vzdialenosti každé 2 m (obr. 16). Rozperry sú oproti väzniciam zosilené, kvôli prenosu pozdĺžnych síl. Väznice aj rozperry sú k priečľam pripojené kĺbovým spojom a staticky tak pôsobia ako prostý nosník. Uložené sú svojou hornou hranou k rovine hornej hrany polrámov a spolu vytvárajú jednu strešnú rovinu.

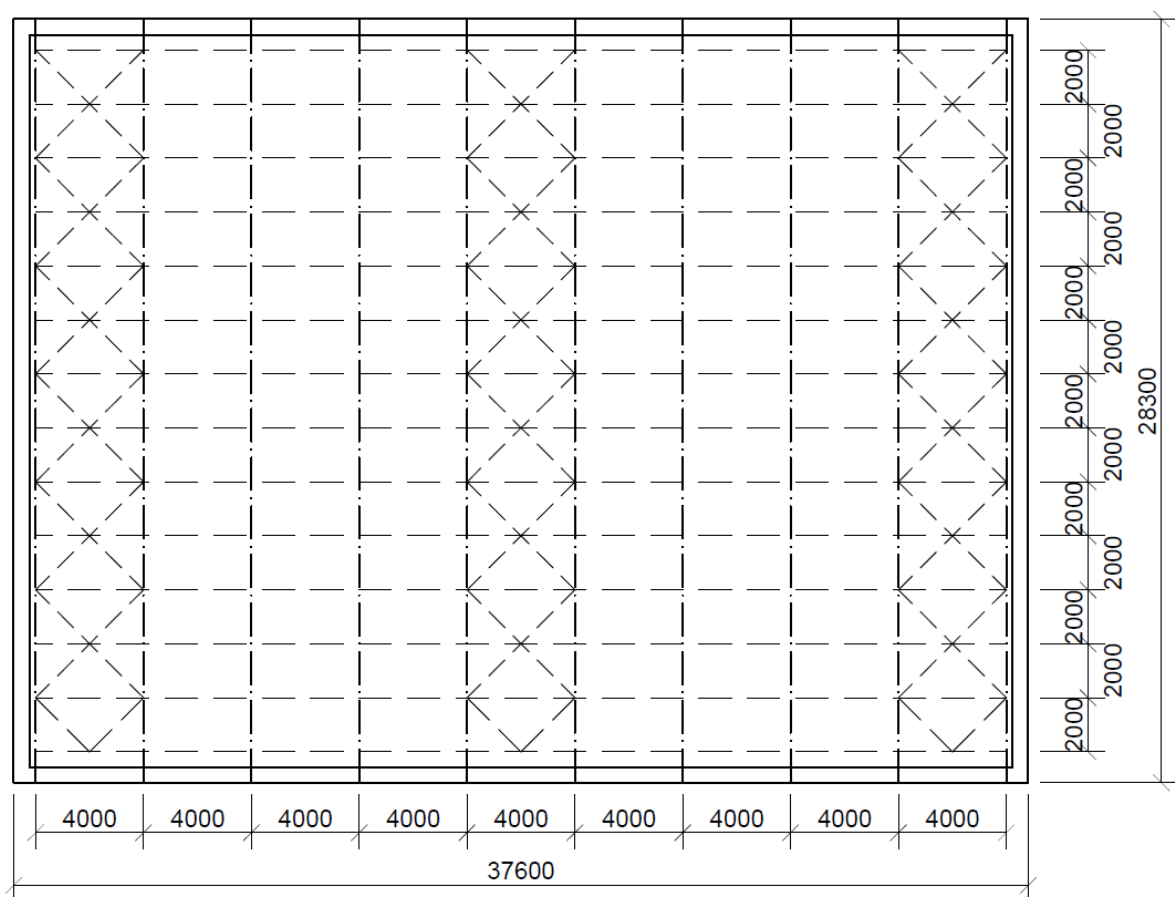
Oceľové tiahla, uložené krížom cez 2 polia väzníc a rozpier, pri rámovom rohu cez 1 pole, sú umiestnené v krajných a stredovom poli haly a zabezpečujú strešné stuženie v priečnom smere. Toto priečne stuženie ďalej pokračuje do steny, kde ho už tvoria drevené diagonálne stužidlá vždy dve jednom poli, tvaru obráteného V. Takéto stenové stužidlá zaisťujú stabilitu haly aj v pozdĺžnom smere (obr. 15).

Hlavné nosné prvky haly sú navrhnuté z lepeného lamelového dreva triedy GL28h, väznice z dreva triedy GL24h. Tiahla a oceľové časti spojov tvorí oceľ S460 a S355.

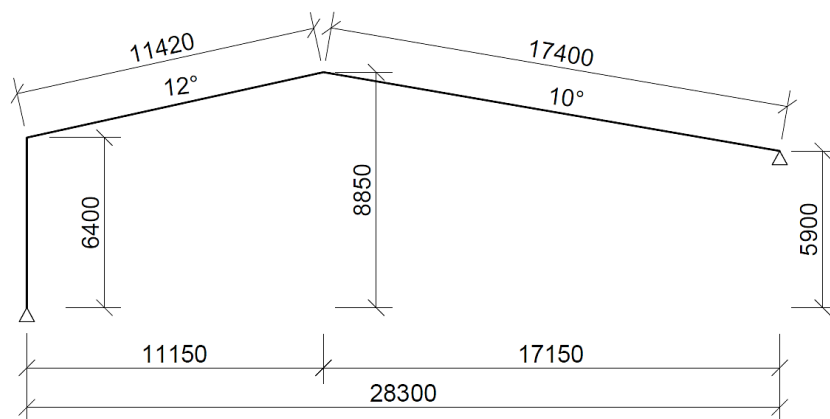
Nevýhodou tohto návrhu sú vznikajúce veľké namáhania od ohybových momentov v rámových rohoch a náročné rozdelenie na jednotlivé celky s následnými montážnymi spojmami.



Obrázok 15: Návrh II – model [12]



Obrázok 5: Návrh II - pôdorys



Obrázok 17: Návrh II – statická schéma

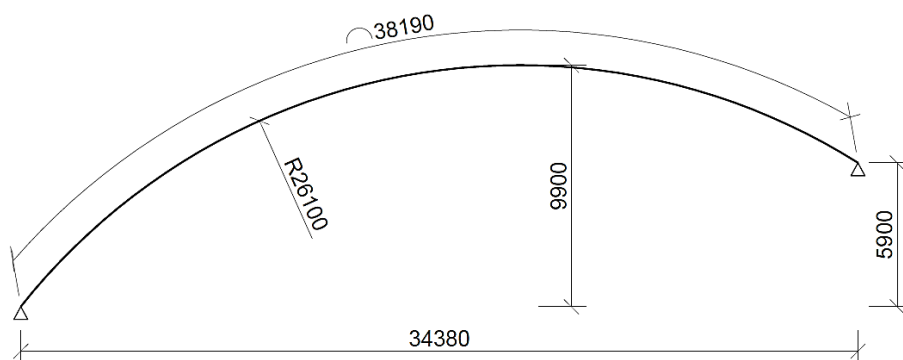
4.3 Návrh III

Pri návrhu konštrukčného systému tejto varianty boli zvolené oblúky o celkových dĺžkach 38,19 m. Jednostranne sú kĺbovo kotvené do stĺpov zo železobetónu vo výške 5,9 m a na druhej strane sú vedené pred halu, kde sú uložené na šikmé železobetónové základové pätky pomocou oceľového kĺbového spoja.

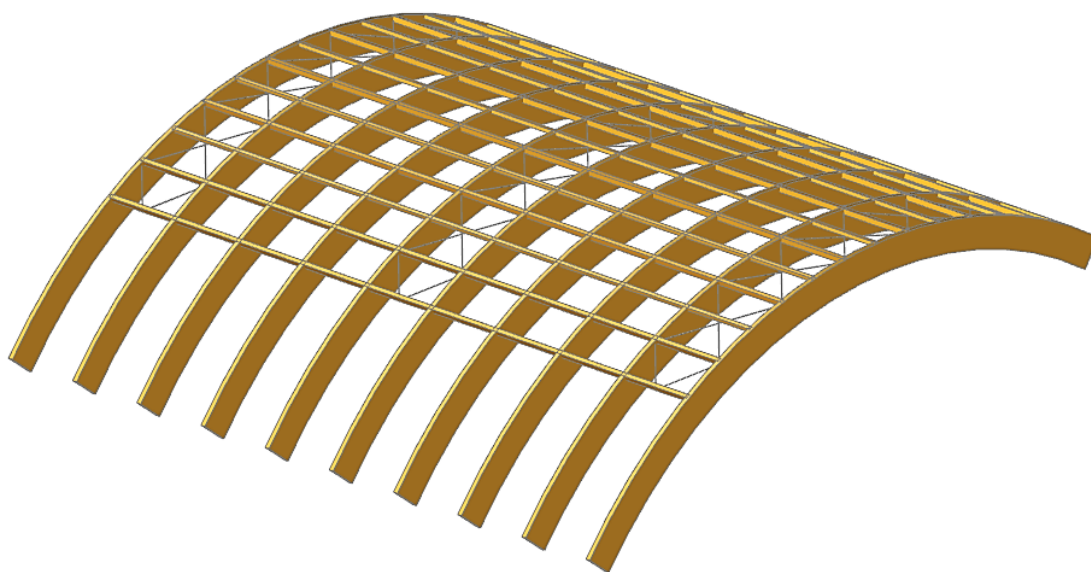
Medzi oblúkmi sa nachádzajú väznice a rozpery, rovnako ako pri variantách vyššie. Dlhé sú 4 m, a osovo uložené každé 2 m. Spolu s oceľovými tiahľami zabezpečujú potrebnú stabilitu a tuhosť konštrukcie haly. Kovové tiahla sú v strednom a v obidvoch krajných poliach.

Materiál hlavných nosných prvkov je rovnaký ako pri predchádzajúcich variantách a to lepené lamelové drevo GL28h, GL24h a pre oceľové tiahla a prípoje oceľ S355 a S460.

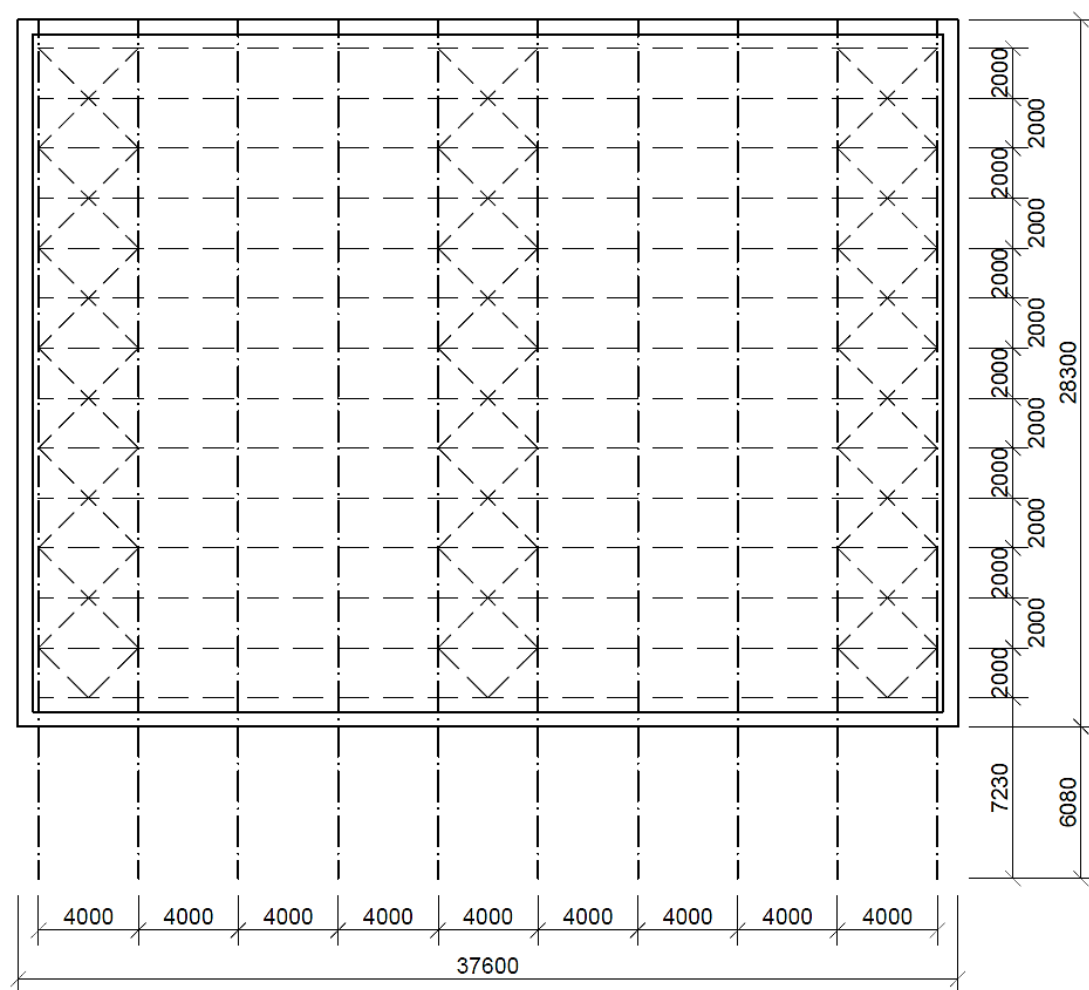
Najvyšší bod haly je vo výške 9,9 m, a jednotlivé oblúky dosahujú rozpon 34,38 m. Nevýhodou varianty je teda väčšia výška, rozpätie a tým pádom aj väčšia spotreba materiálu oproti predošlým návrhom. Naopak, jej výhodou je, že táto športová hala je viac namáhaná tlakom ako ohybom a tým nie je konštrukcia namáhaná skoro žiadnym ohybovým momentom.



Obrázok 18: Návrh III – statická schéma



Obrázok 19: Návrh III - model [12]



Obrázok 20: Návrh III – pôdorys

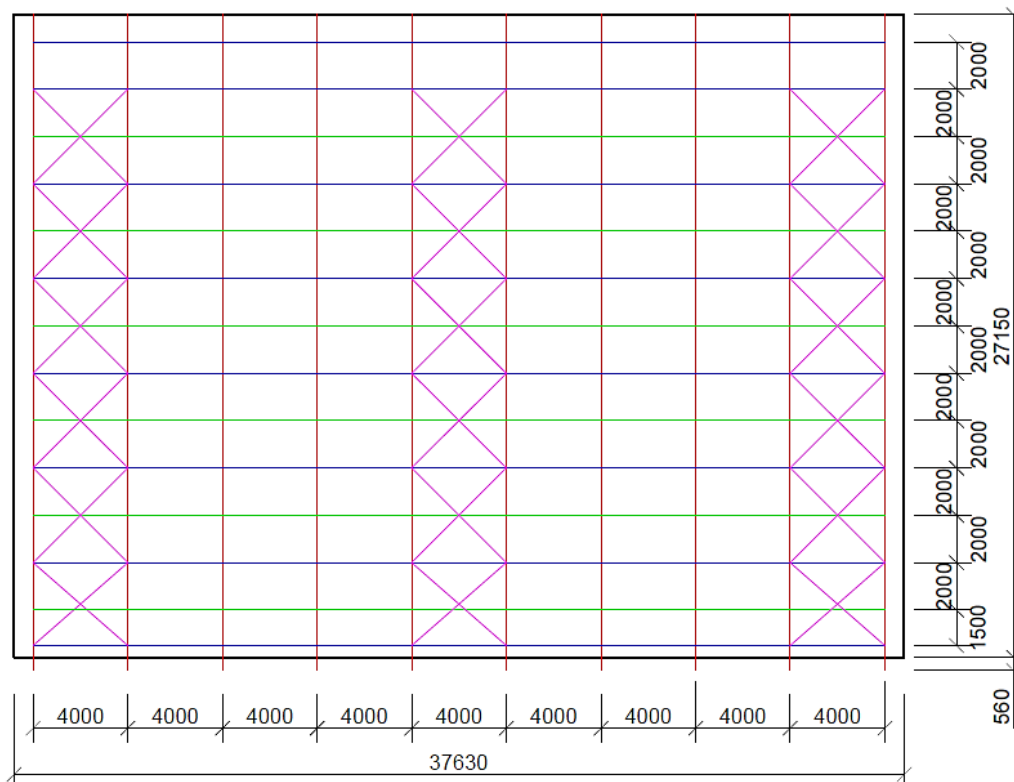
5 CHARAKTERISTIKA ZVOLENEJ VARIANTY

Pre ďalšie spracovanie bola z vyše uvedených návrhov vybratá varianta prvá - Návrh I. Od ostatných verzií sa okrem konštrukčného systému líši, a zároveň vyniká svojim asymetrickým riešením nielen v pozdĺžnom ale aj priečnom smere. V kapitole 5 sú zhrnuté podstatné vlastnosti o rozmeroch a o drevených materiáloch použitých na zvolenej konštrukcii.

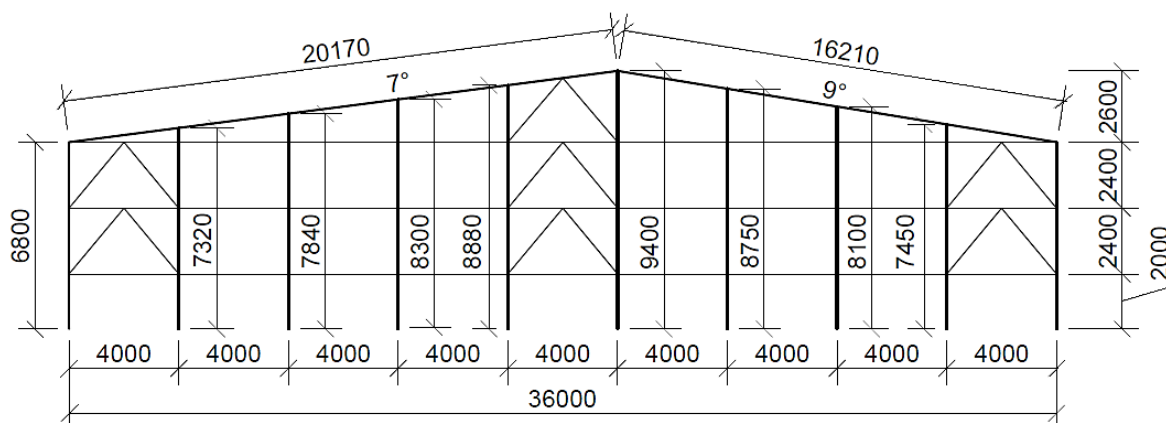
5.1 Geometrické vlastnosti

Pôdorysný rozmer nosnej konštrukcie je v priečnom smere 27,71 m, v pozdĺžnom smere je dĺžka 37,63 m. Osová vzdialenosť medzi desiatimi vzperami a rovnako aj desiatimi väzníkmi je 4 m. Vážnice (vyznačené zelenou na obr. 21) sú medzi väzníkmi umiestnené každé 4 m, pri odkvape nad vzperami 1,5 m. Rozpery (vyznačené modrou na obr. 21) sú vo vzdialenosti 4 m od seba a 2 m od väzníc.

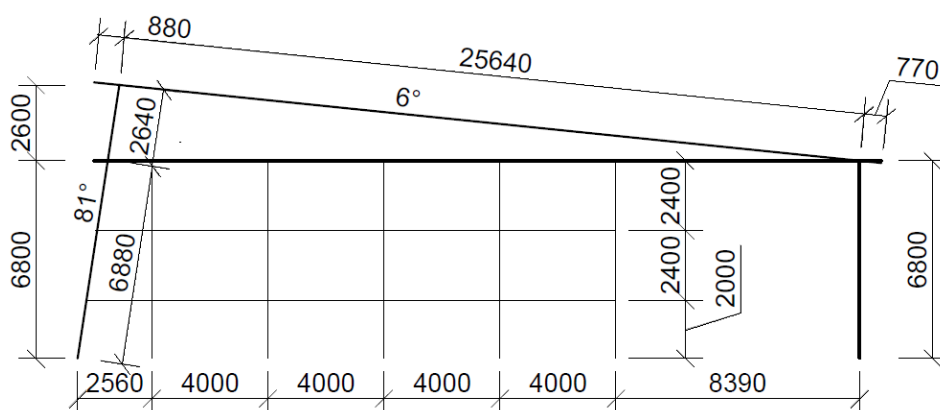
Najvyšší bod konštrukcie je vo výške 9,4 m a tvorí ho najdlhšia vzpera dlhá 9,52 m naklonená pod uhlom 81° od vodorovnej roviny. Najnižší bod strešnej konštrukcie 6,8 m, pod rovnakým uhlom, tvoria dve krajné vzpery dlhé 6,88 m (obr. 22, 23).



Obrázok 61: Pôdorysné rozmery – farebne vyznačené prvky (červená-väzník, modrá-rozpera, zelená-vážnica, ružová-ocel'. tiaholo)



Obrázok 72: Schéma haly v pozdĺžnom smere



Obrázok 83: Schéma haly v priečnom smere

5.2 Materiálové vlastnosti

Na športovej hale boli použité dve triedy lepeného lamelového dreva a to GL28h na väzníky a trieda dreva GL24h na ich podopierajúce vzpery, väznice, rozpery, fasádne rozpery (paždíky) a fasádne (štítové) stĺpy. Drevo rastené bolo zvolené z ihličnatých drevín triedy C24 pre stenové stužidla tvaru obráteného V. Stuzenie v pozdĺžnom smere – oceľové tiahla tvorí oceľ triedy S460. Trieda ocele S355 bude použitá na kovové časti použité na spoje.

Keďže má športová hala všetky prvky nosnej konštrukcie chránené proti vonkajším klimatickým podmienkam a vo vnútri haly je vlhkosť materiálov odpovedajúca teplote 20°C, modifikačný súčiniteľ k_{mod} je pre všetky posudzované prvky zvolený pre vlhkosť triedy 1 a pre krátkodobé trvanie zaťaženia. Charakteristické hodnoty materiálových vlastností zvolených drevených materiálov boli prevzaté z tabuliek pevnosti dreva v ČSN 73 1702 [6].

Lepené lamelové drevo GL 28h:

$$\begin{aligned}f_{m,k} &= 28 \text{ MPa} \\f_{t,0,k} &= 19,5 \text{ MPa} \\f_{c,0,k} &= 26,5 \text{ MPa} \\f_{c,90,k} &= 3,0 \text{ MPa} \\f_{v,k} &= 3,5 \text{ MPa} \\E_{0,05} &= 10500 \text{ MPa} \\\rho_k &= 410 \text{ kg/m}^3 \\\gamma_M &= 1,25\end{aligned}$$

$$\text{Návrhové hodnoty : } f_d = k_{mod} \frac{f_k}{\gamma_M}$$

$$\text{Trieda prostredia 1: } k_{mod} = 0,9$$

$$\begin{aligned}f_{m,d} &= 20,16 \text{ MPa} \\f_{t,0,d} &= 14,04 \text{ MPa} \\f_{c,0,d} &= 19,08 \text{ MPa} \\f_{c,90,d} &= 2,16 \text{ MPa} \\f_{v,d} &= 2,52 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Lepené lamelové drevo GL 24h:

$$\begin{aligned}f_{m,k} &= 24 \text{ MPa} \\f_{t,0,k} &= 16,5 \text{ MPa} \\f_{c,0,k} &= 24 \text{ MPa} \\f_{c,90,k} &= 2,7 \text{ MPa} \\f_{v,k} &= 3,5 \text{ MPa} \\E_{0,05} &= 9600 \text{ MPa} \\\rho_k &= 380 \text{ kg/m}^3 \\\gamma_M &= 1,25\end{aligned}$$

$$\text{Návrhové hodnoty : } f_d = k_{mod} \frac{f_k}{\gamma_M}$$

$$\text{Trieda prostredia 1: } k_{mod} = 0,9$$

$$\begin{aligned}f_{m,d} &= 17,28 \text{ MPa} \\f_{t,0,d} &= 11,88 \text{ MPa} \\f_{c,0,d} &= 17,28 \text{ MPa} \\f_{c,90,d} &= 1,94 \text{ MPa} \\f_{v,d} &= 2,52 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Rastené drevo C24:

$$\begin{aligned}f_{m,k} &= 24 \text{ MPa} \\f_{t,0,k} &= 14 \text{ MPa} \\f_{c,0,k} &= 21 \text{ MPa} \\f_{c,90,k} &= 2,5 \text{ MPa} \\f_{v,k} &= 2,7 \text{ MPa} \\E_{0,05} &= 7400 \text{ MPa} \\\rho_k &= 350 \text{ kg/m}^3 \\\gamma_M &= 1,3\end{aligned}$$

$$\text{Návrhové hodnoty : } f_d = k_{mod} \frac{f_k}{\gamma_M}$$

$$\text{Trieda prostredia 1: } k_{mod} = 0,9$$

$$\begin{aligned}f_{m,d} &= 16,62 \text{ MPa} \\f_{t,0,d} &= 9,69 \text{ MPa} \\f_{c,0,d} &= 14,54 \text{ MPa} \\f_{c,90,d} &= 1,73 \text{ MPa} \\f_{v,d} &= 1,87 \text{ MPa}\end{aligned}$$

6 VÝPOČET ZAŤAŽENIA

Na konštrukciu športovej haly pôsobí zaťaženie stále, úžitkové a premenné, ktoré sú v tejto kapitole bližšie popísané. Zaťaženie stále bolo vypočítané podľa normy ČSN EN 1991 [1] a zaťaženie premenné podľa noriem ČSN EN 1991 [2], [3]. Výsledné hodnoty sú v charakteristických hodnotách vyjadrené v kN/m a následne použité v programe SCIA Engineer 17.1 [12], kde sú vytvorené kombinácie od týchto zaťažení.

6.1 Zaťaženie stále

Vlastná tiaž prvkov konštrukcie, skladba strešného a obvodového plášťa spolu s vybavením športovej haly ako je osvetlenie, vzduchotechnika, materiál použitý na spájanie jednotlivých prvkov, atď. je považované za zaťaženie, ktoré pôsobí na konštrukciu stálo.

Pomocou programu SCIA Engineer 17.1 [12] boli vygenerované hodnoty zaťaženia od vlastnej tiaže všetkých prvkov konštrukcie.

Zaťaženie, ktoré pôsobí na strešnú konštrukciu, tvorí strešný sendvičový panel s trapézovou profiláciou Kingspan. Hrúbka izolačného jadra a hmotnosť na jeden meter štvorcový sú prevzaté zo stránok spoločnosti Kingspan [18]. Podhlád tvoria drevené dosky. Roznášacia šírka zaťažovaných prvkov (rozpery, väznice) je 2 m.

Tab. 1: Stále zaťaženie – strešný plášť

Popis zaťaženia	Hrúbka [mm]	g_k [kN/m ²]	Rozn. šírka	g_k [kN/m]
Strešný sendvič. panel Kingspan ($\gamma = 13,63 \text{ kg/m}^2$)	195	0,1363	2	0,2726
Podhlád z drevených dosiek ($\rho = 350 \text{ kg/m}^3$)	20	0,07	2	0,14
CELKOM		0,206		0,41

Celkové stále zaťaženie od strešného plášťa: $g_k = 0,41 \text{ kN/m}$

Keďže v materiálovom prevedení športovej haly dominuje hlavne drevo, je využité aj ako obkladový materiál stien v interiéri a imitáciou aj v exteriéri. Obvodový plášť je riešený ako sendvičová konštrukcia Kingspan [18] upevnená medzi vzperami a štítovými stĺpmi. Fasádu ďalej tvorí drevená konštrukcia z priečnikov a vzpier, na ktorých je z exteriérovej strany pripevnená DHF doska EGGER [19] s tepelnou izoláciou ISOVER Topsil [20] a hliníkovým

profilovým rámom s fasádnym obkladom Timbermax [21]. Z interiérovej strany haly sú steny obložené OSB doskami s upraveným povrchom pre finálnu povrchovú úpravu. Roznášacia šírka pre zaťaženie je 2,4 m.

Tab. 2: Stále zaťaženie - obvodový plášť

Popis zaťaženia	Hrúbka [mm]	g_k [kN/m ²]	Rozn. šírka	g_k [kN/m]
Fasádný obklad Timbermax ($\gamma = 18,91$ kg/m ²)	23	0,1891	2,4	0,4538
Rám -hliníkový profil U20	20	0	2,4	0
Vzduchová medzera	34	0	2,4	0
Tepelná izolácia ISOVER Topsil ($\rho=60$ kg/m ³)	50	0,03	2,4	0,072
DHF dosky EGGER ($\rho=625$ kg/m ³)	15	0,09375	2,4	0,225
Stenové panely Kingspan ($\gamma = 16,40$ kg/m ²)	200	0,164	2,4	0,3936
OSB doska (morená,lak+farba) ($\rho=600$ kg/m ³)	18	0,108	2,4	0,2592
CELKOM		0,585		1,40

Celkové stále zaťaženie od obvodového plášťa: $g_k = 1,40$ kN/m

Zaťaženie od doplnkového vybavenia športovej haly, kde patrí vzduchotechnika, osvetlenie haly, prostriedky na spájanie je možné zjednodušené vyjadriť ako 5% zo zaťaženia stáleho (od vlastnej tiaže, strešného a obvodového plášťa).

Celkové stále zaťaženie od vybavenia haly: $g_k = 0,05 \cdot 1,81 = 0,09$ kN/m

6.2 Zaťaženie úžitkové

Z normy ČSN EN 1991 [1] pre kategóriu strechy H je prevzatá hodnota úžitkového zaťaženia. Pôsobí na roznášacej šírke 2 m.

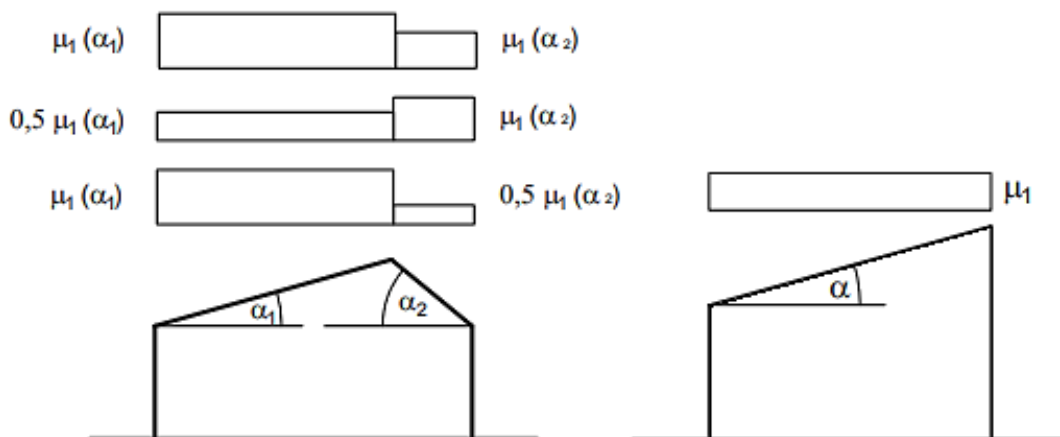
Úžitkové zaťaženie pre strechy – kategória H: $q_k = 0,75 \cdot 2 = 1,5$ kN/m

6.3 Zaťaženie premenné

6.3.1 Sneh

Športová hala sa nachádza v okolí mesta Opava, ktoré na mape snehových oblastí [2] odpovedá oblasti II. Snehové usporiadanie na strešnej konštrukcii je z pozdĺžnej strany haly, kde má dva rôzne sklony, usporiadané podľa strechy sedlovej a z priečnej strany podľa strechy pultovej (obr. 24). Strecha sedlová je uvažovaná len do polovice strešnej konštrukcie, ďalej je

zaťaženie usporiadané podľa strechy pultovej kvôli znižujúcemu sa sklonu. Tvarový súčiniteľ bol pre naviaty aj nenaviaty sneh podľa ČSN EN [2] v pozdĺžnom aj priečnom smere konštrukcie rovnaký.



Obrázok 94: Usporiadanie zaťaženia pre nenaviaty a naviaty sneh - vľavo v pozdĺžnom smere a vpravo v priečnom smere [2]

- Snehová oblasť III: $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$
- Súčiniteľ expozície: $C_e = 1,0$
- Tepelný súčiniteľ: $C_t = 1,0$
- Sklon v pozdĺžnom smere: $\alpha_1 = 7^\circ$
- Sklon v pozdĺžnom smere: $\alpha_2 = 9^\circ$
- Sklon v priečnom smere: $\alpha = 6^\circ$
- Tvarový súčiniteľ: $\mu_l = 0,8$

Naviaty aj nenaviaty sneh:

$$s_{(\mu_l)} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_l = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 2,0 \text{ m} = 1,6 \text{ kN/m}$$

$$s_{(0,5\mu_l)} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot 0,5\mu_l = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,4 \cdot 2,0 \text{ m} = 0,8 \text{ kN/m}$$

6.3.2 Vietor

Hodnoty zaťaženia vetrom sú vyjadrené na stenách a strešnej konštrukcii haly a to v priečnom a pozdĺžnom smere.

Pre výpočet pôsobiaceho zaťaženia od vetra na jednotlivé prúty, bolo nutné určiť maximálny charakteristický dynamický tlak q_p . Ten je ovplyvnený poveternostnými podmienkami a miestnymi vplyvmi v meste Opava, a výškou športovej haly nad terénom. V nasledujúcej časti je postup výpočtu tohto tlaku podľa normy ČSN EN [3].

- Východzia rýchlosť vetra: $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$
- Základná rýchlosť vetra: $v_b = v_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season} = 25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 25 \text{ m/s}$
- Referenčná výška: $h = z_e = 9,4 \text{ m}$
- Kategória terénu => II: $z_0 = z_{0,II} = 0,05 \text{ m}; \quad z_{min} = 2,0 \text{ m}$
- Hustota vzduchu: $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
- Súčiniteľ ortografie: $c_0(z) = 1,0$

- Súčiniteľ terénu: $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19$
- Súčiniteľ drsnosti: $c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,995$
- Stredná rýchlosť vetra: $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 24,87 \text{ m/s}$
- Intenzita turbulencie: $I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\frac{z}{z_0}} = 0,19$
- Charakteristický maximálny dynamický tlak:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = 0,904 \text{ kN/m}^2$$

6.3.2.1 Zvislé steny

Steny na športovej hale sú rozdelené na veterné oblasti len na priečnej a pozdĺžnej strane, ktorú netvoria železobetónové stĺpy a to za predpokladu, že steny s týmito stĺpmi vytvárajú oveľa tuhší celok ako steny tvorené drevenými vzperami či štítovými stĺpmi. Oblasti sú rozdelené podľa ich najnepriaznivejšieho usporiadania (obr. 25, 26). Roznášacia šírka zaťažovaných drevených paždíkov bola 1,2; 2,4 a 3,2 m. Hodnoty uvedené nižšie sú zobrazené pre zaťažovanú šírku 2,4 m.

Hodnoty súčiniteľov vonkajších tlakov c_{pe} [3]

<u>Priečny smer</u>	<u>Pozdĺžny smer</u>
$c_{pe}^A = -1,2$	$c_{pe}^A = -1,2$
$c_{pe}^B = -0,8$	$c_{pe}^B = -0,8$
$c_{pe}^C = -0,5$	$c_{pe}^C = -0,5$
$c_{pe}^D = 0,71$	$c_{pe}^D = 0,7$
$c_{pe}^E = -0,32$	$c_{pe}^E = -0,3$

Výsledný tlak vetra na zvislé steny: $w_k = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \cdot 2,4 \text{ m}$

Výsledné hodnoty - priečny vietor

pre súčiniteľ $c_{pi} = 0,2$

$$w_k^A = -3,04 \text{ kN/m}$$

$$w_k^B = -2,17 \text{ kN/m}$$

$$w_k^C = -1,52 \text{ kN/m}$$

$$w_k^D = 1,10 \text{ kN/m}$$

$$w_k^E = -1,13 \text{ kN/m}$$

pre súčiniteľ $c_{pi} = -0,3$

$$w_k^A = -2,00 \text{ kN/m}$$

$$w_k^B = -1,10 \text{ kN/m}$$

$$w_k^C = -0,43 \text{ kN/m}$$

$$w_k^D = 2,20 \text{ kN/m}$$

$$w_k^E = -0,04 \text{ kN/m}$$

Výsledné hodnoty - pozdĺžny vietor

pre súčiniteľ $c_{pi} = 0,2$

$$w_k^A = -3,04 \text{ kN/m}$$

$$w_k^B = -2,17 \text{ kN/m}$$

$$w_k^C = -1,52 \text{ kN/m}$$

$$w_k^D = 1,08 \text{ kN/m}$$

$$w_k^E = -1,10 \text{ kN/m}$$

pre súčiniteľ $c_{pi} = -0,3$

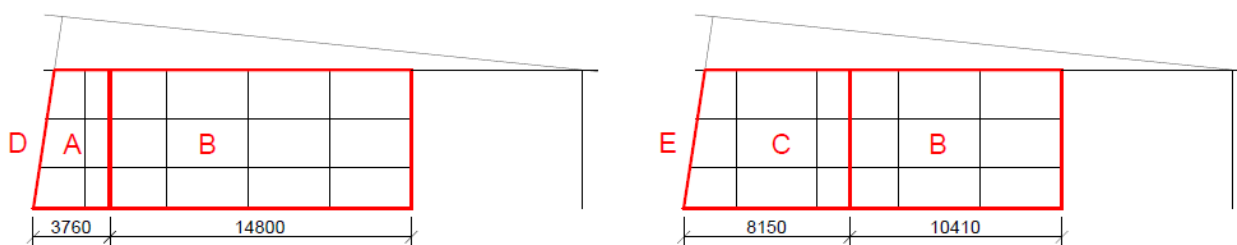
$$w_k^A = -2,00 \text{ kN/m}$$

$$w_k^B = -1,10 \text{ kN/m}$$

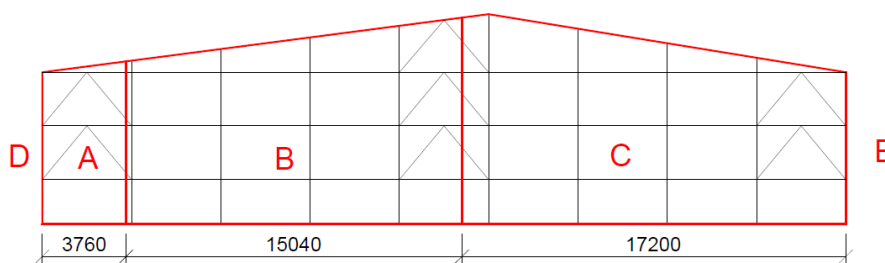
$$w_k^C = -0,43 \text{ kN/m}$$

$$w_k^D = 2,17 \text{ kN/m}$$

$$w_k^E = 0,00 \text{ kN/m}$$



Obrázok 105: Označenie veterných oblastí na zvislej stene - priečny smer



Obrázok 116: Označenie veterných oblastí na zvislej stene - pozdĺžny vietor zľava

6.3.2.2 Strecha - priečný smer

Plocha strechy pre priečný smer vetra je riešená ako sedlová strecha s dvomi rôznymi sklonmi, a od svojej polovice ako strecha plochá, keďže svoje sklony postupne znižuje až na nulové hodnoty. Vietor zaťažuje konštrukciu strechy zľava aj sprava. Na obr. 27 sú znázornené veterné oblasti na vietor pôsobiaci zľava. Pre jednotlivé oblasti je počítané zaťaženie na prúty podľa roznášacej šírky 2 m alebo kombináciou týchto oblastí.

Hodnoty súčiniteľov vonkajších tlakov c_{pe} [3]

Pre strechu sedlovú v sklone 7°

$$c_{pe}^F = -1,54$$

$$c_{pe}^G = -1,12$$

$$c_{pe}^H = -0,54$$

$$c_{pe}^I = -0,56$$

Pre strechu sedlovú v sklone 9°

$$c_{pe}^F = -1,38$$

$$c_{pe}^G = -1,04$$

$$c_{pe}^H = -0,48$$

$$c_{pe}^I = -0,52$$

Pre strechu plochú

$$c_{pe}^F = -1,8$$

$$c_{pe}^G = -1,2$$

$$c_{pe}^H = -0,7$$

$$c_{pe}^{I-} = -0,2$$

$$c_{pe}^{I+} = 0,2$$

Výsledný tlak vetra na strechu:

$$w_k = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \cdot 2,0 \text{ m}$$

Výsledné hodnoty – sklon strechy 7°

pre súčiniteľ $c_{pi} = 0,2$

$$w_k^F = -3,14 \text{ kN/m}$$

$$w_k^G = -2,39 \text{ kN/m}$$

$$w_k^H = -1,34 \text{ kN/m}$$

$$w_k^I = -1,37 \text{ kN/m}$$

pre súčiniteľ $c_{pi} = -0,3$

$$w_k^F = -2,24 \text{ kN/m}$$

$$w_k^G = -1,48 \text{ kN/m}$$

$$w_k^H = -0,43 \text{ kN/m}$$

$$w_k^I = -0,47 \text{ kN/m}$$

Výsledné hodnoty – sklon strechy 9°

pre súčiniteľ $c_{pi} = 0,2$

$$w_k^F = -2,86 \text{ kN/m}$$

$$w_k^G = -2,24 \text{ kN/m}$$

$$w_k^H = -1,23 \text{ kN/m}$$

pre súčiniteľ $c_{pi} = -0,3$

$$w_k^F = -1,95 \text{ kN/m}$$

$$w_k^G = -1,34 \text{ kN/m}$$

$$w_k^H = -0,33 \text{ kN/m}$$

Výsledné hodnoty - plochá strecha

pre súčiniteľ $c_{pi} = 0,2$

$$w_k^F = -3,61 \text{ kN/m}$$

pre súčiniteľ $c_{pi} = -0,3$

$$w_k^F = -2,71 \text{ kN/m}$$

$$w_k^G = -2,53 \text{ kN/m}$$

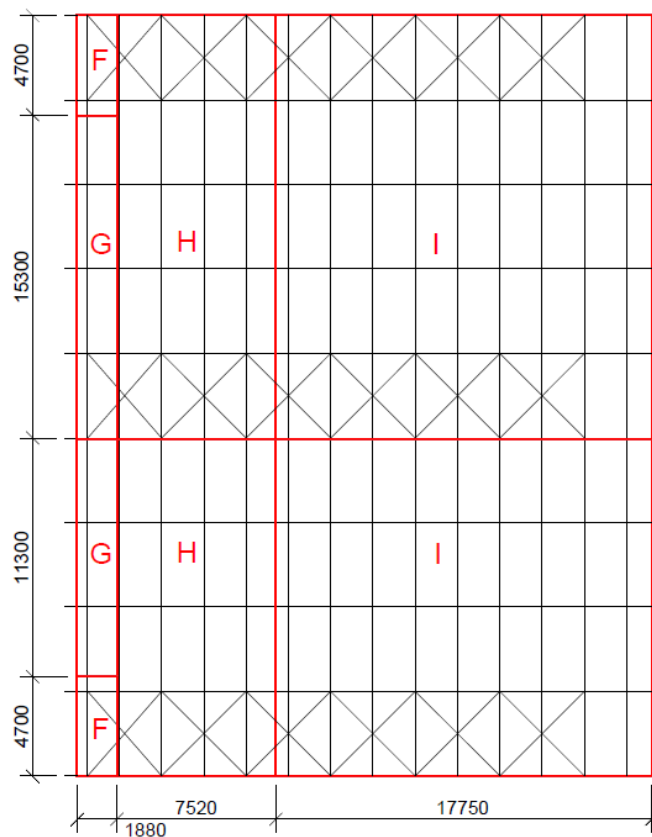
$$w_k^H = -1,63 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{I-} = -0,72 \text{ kN/m}$$

$$w_k^G = -1,63 \text{ kN/m}$$

$$w_k^H = -0,72 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{I+} = 0,90 \text{ kN/m}$$



Obrázok 27: Označenie veterných oblastí na streche - priečny smer vetra zľava

6.3.2.3 Strecha - pozdĺžny smer

Pozdĺžny smer vetra na strešnej rovine je takisto riešený rozdelením na veterné oblasti podľa strechy plochej a sedlovej. Rovnako ako pri priečnom smere je do prvej polovice strechy uvažovaná sedlová a ďalej plochá strecha. Vietor pôsobí z ľavej aj z pravej strany. Z ôsmich zaťažovacích stavov sú ďalej uvažované štyri najnepriaznivejšie. Roznášacia šírka je 2 m.

Hodnoty súčiniteľov vonkajších tlakov c_{pe} [3]

Pre strechu plochú

$$c_{pe}^F = -1,8$$

$$c_{pe}^G = -1,2$$

$$c_{pe}^H = -0,7$$

$$c_{pe}^{I-} = -0,2$$

Pre strechu sedlovú

$$c_{pe}^F = -1,54$$

$$c_{pe}^G = -1,12$$

$$c_{pe}^H = -0,54$$

$$c_{pe}^I = -0,52$$

$$c_{pe}^{I+} = 0,2$$

$$c_{pe}^{I+} = 0,00$$

$$c_{pe}^J = -0,76$$

$$c_{pe}^{J+} = 0,16$$

Výsledný tlak vetra na strechu:

$$w_k = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \cdot 2,0 \text{ m}$$

Výsledné hodnoty - plochá strecha

pre súčiniteľ $c_{pi} = 0,2$

$$w_k^F = -3,61 \text{ kN/m}$$

$$w_k^G = -2,53 \text{ kN/m}$$

$$w_k^H = -1,63 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{I-} = -0,72 \text{ kN/m}$$

pre súčiniteľ $c_{pi} = -0,3$

$$w_k^F = -2,71 \text{ kN/m}$$

$$w_k^G = -1,63 \text{ kN/m}$$

$$w_k^H = -0,72 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{I+} = 0,90 \text{ kN/m}$$

Výsledné hodnoty - sedlová strecha

pre súčiniteľ $c_{pi} = 0,2$

$$w_k^F = -3,14 \text{ kN/m}$$

$$w_k^G = -2,39 \text{ kN/m}$$

$$w_k^H = -1,34 \text{ kN/m}$$

$$w_k^I = -1,30 \text{ kN/m}$$

$$w_k^J = -1,73 \text{ kN/m}$$

pre súčiniteľ $c_{pi} = -0,3$

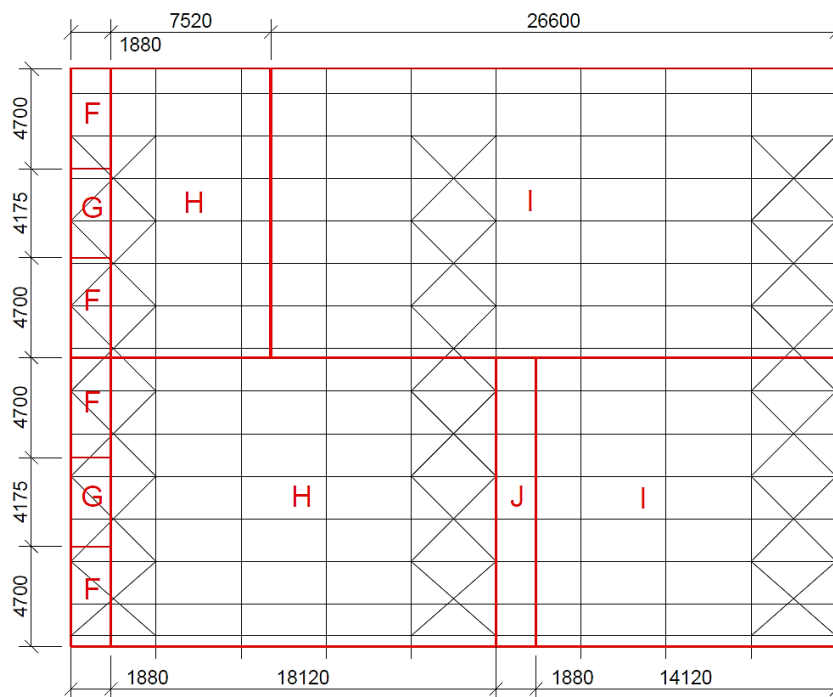
$$w_k^F = -2,24 \text{ kN/m}$$

$$w_k^G = -1,48 \text{ kN/m}$$

$$w_k^H = -0,43 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{I+} = 0,54 \text{ kN/m}$$

$$w_k^{J+} = 0,83 \text{ kN/m}$$



Obrázok 128: Označenie vetrových oblastí na streche - pozdĺžny smer vetra zľava

6.4 Výpočet pomocou programu SCIA Engineer 17.1

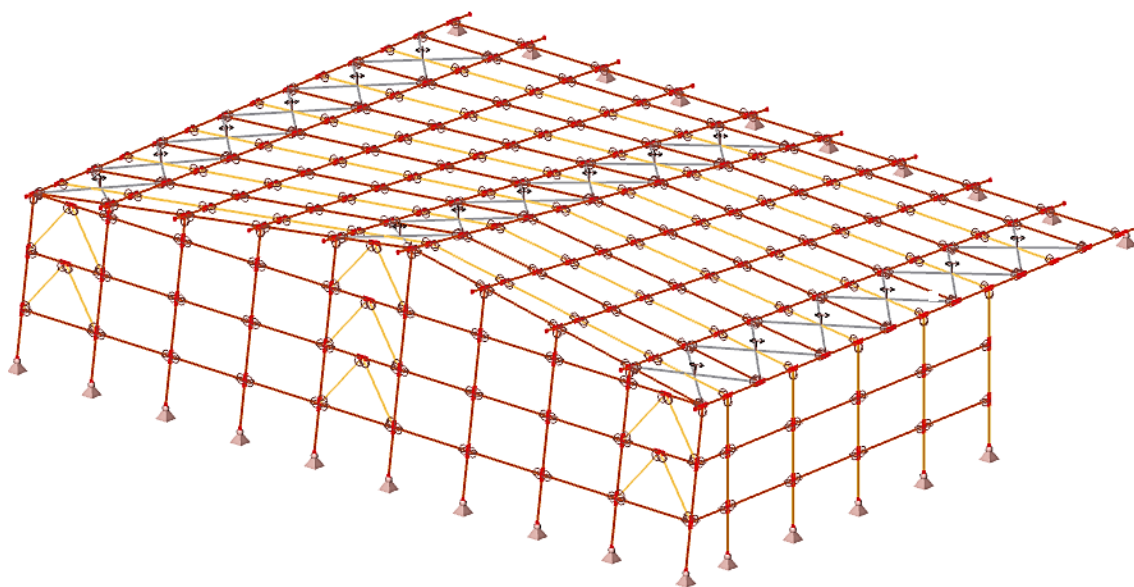
Vo výpočtovom programe SCIA Engineer 17.1 [12] bol vymodelovaný prútový priestorový výpočtový model, z ktorého boli získané silové a deformačné odozvy prvkov nosnej konštrukcie, na pôsobiace zaťaženie. Model konštrukcie tvorí 238 prútov a 230 uzlov. Jednotlivé prúty sú k sebe pripojené kĺbovo so zadanou tuhosťou posunu podľa ČSN [6]. Na základe vypočítaného zaťaženia z predošlej kapitoly, boli zaťažované rozpery, väznice a fasádne rozpery (paždíky), štrnástimi zaťažovacími stavmi LC1 až LC14, zobrazené v prílohe 1.

Keďže sa na konštrukcii nachádzajú tiahla, ktoré prenášajú len ťah, bolo potrebné pred aplikovaním výpočtu z týchto prvkov vylúčiť tlak. Následne bol spustený nelineárny konečno-prvkový výpočet pre 138 nelineárnych kombinácií zaťažovacích stavov. Kombinácie zaťaženia boli vytvorené pre posúdenie v medznom stave únosnosti podľa výrazu:

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}, \quad (6.1)$$

a pre posúdenie v medznom stave použiteľnosti podľa výrazu [9]:

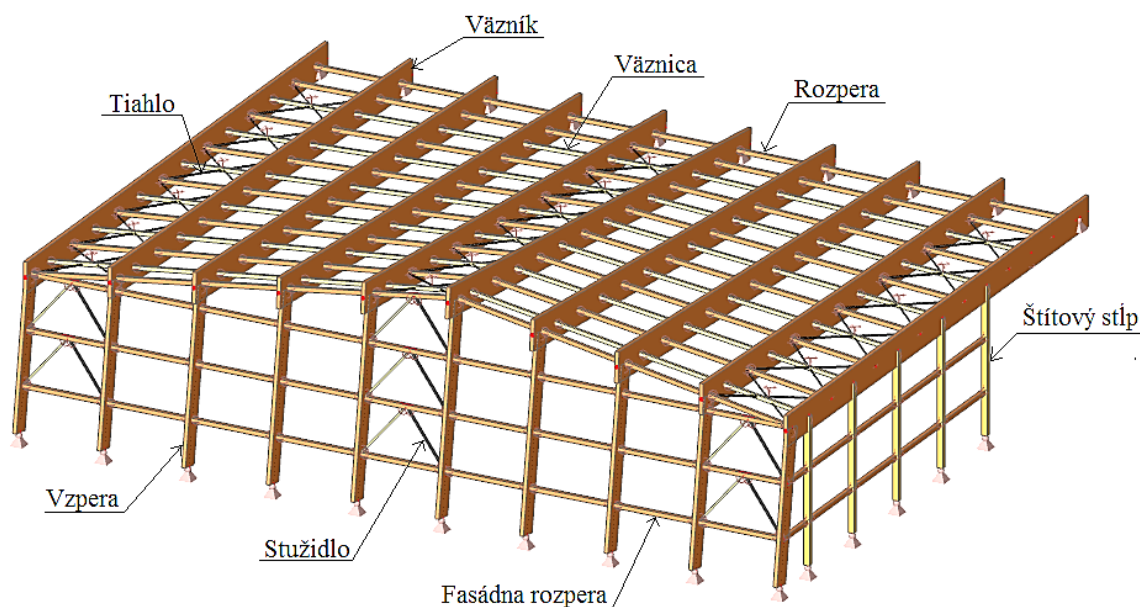
$$\sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \psi_{1,i} Q_{k,i} \quad (6.2)$$



Obrázok 139: Model konštrukcie - SCIA Engineer 17.1

7 NÁVRH A POSÚDENIE NOSNÝCH PRVKOV

V tejto kapitole sú posúdené jednotlivé navrhnuté prvky konštrukcie športovej haly. V podkapitolách sú z posudzovaných prútov vyberané tie, na ktorých vznikajú najväčšie ohybové momenty, šmykové či normálové sily a najväčšie deformácie na základe rozhodujúcej kombinácie zaťaženia. Tieto hodnoty sú prevzaté z programu SCIA Engineer 17.1 [12]. Posudky sú pre daný prvok uvedené vždy len rozhodujúce a pre MSÚ aj MSP sú realizované na základe normy ČSN EN 1995-1-1 [4].



Obrázok 3014: Popísané prvky konštrukcie

7.1 Vážnica

Strešná vážnica je dlhá 4 m a tvorená je z LLD triedy GL24h. Z hľadiska MSÚ je posúdené napätie v ohybe, šmyku a kombinácia ohybu so vzperným tlakom, osovým ťahom.

❖ Prierezové charakteristiky:

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$h = 180 \text{ mm}$$

$$k_{cr} = 0,67 \text{ (pre LLD)}$$

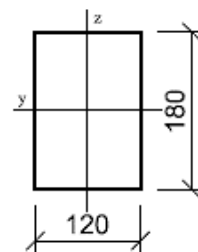
$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 120 = 80,4 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 80,4 \cdot 180 = 14472 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 120 \cdot 180^2 = 648000 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 180^3 = 5,8 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{5,8 \cdot 10^7}{21600}} = 51,96 \text{ mm}$$



Obrázok 3115: Návrh prierezu vážnice

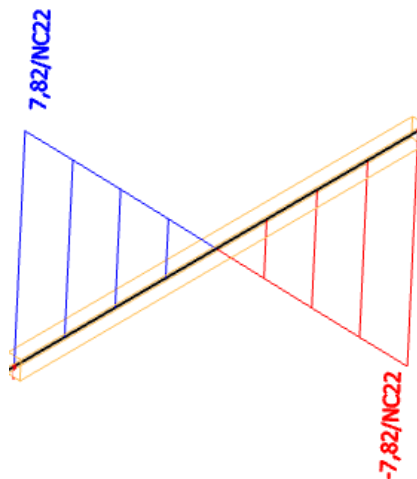
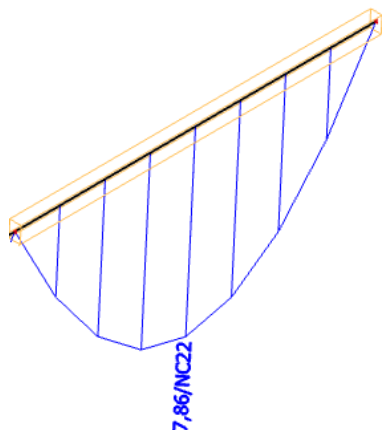
1. Napätie v ohybe, napätie v šmyku

❖ Maximálne vnútorné sily:

Rozhodujúca kombinácia: NC 22 ($1,35 \cdot LC1 + 1,35 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC6 + 0,9 \cdot LC8$)

Ohybový moment: $M_{Ed,y} = 7,86 \text{ kNm}$

Šmyková sila: $V_{Ed,z} = 7,82 \text{ kN}$



Obrázok 162: Vážnica: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,y}$

Obrázok 17: Vážnica: Maximálna šmyková sila $V_{Ed,z}$

❖ Napätie: Ohyb:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{7,86}{0,65} = 12,13 \text{ MPa}$$

Šmyk:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,z}}{A_{ef} \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{7,82}{14,47} = 0,81 \text{ MPa}$$

▪ Posúdenie MSÚ:

Ohyb:

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$$

$$12,13 \text{ MPa} < 17,28 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Šmyk:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,81 \text{ MPa} < 2,52 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

2. Kombinácia ohybu a vzperného tlaku

$L_{cr} = 4005 \text{ mm}$ (vybočenie v ose z a y)

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{4005}{51,96} = 77,08$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{77,08}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,23$$

$\beta_c = 0,1$ (pre LLD)

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,23 - 0,3) + 1,23^2] = 1,30$$

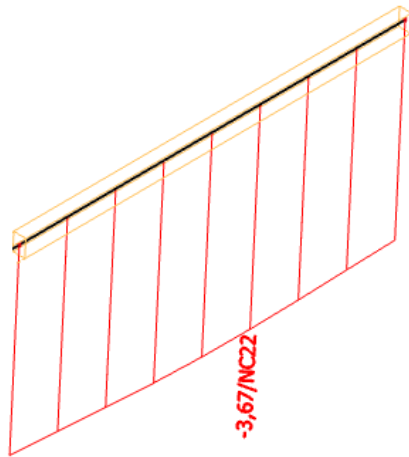
$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,30 + \sqrt{1,30^2 - 1,23^2}} = 0,58$$

❖ Vnútorne sily:

Rozhodujúca kombinácia: NC 22 ($1,35 \cdot LC1 + 1,35 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC6 + 0,9 \cdot LC8$)

Maximálny ohybový moment: $M_{Ed,y} = 7,86 \text{ kNm}$ (obr. 32)

Príslušná tlaková sila: $N_{Ed} = 3,67 \text{ kN}$



Obrázok 34: Vážnica: Príslušná tlaková sila N_{Ed} k $M_{Ed,y}$

❖ Napätie: Ohyb k ose y: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{7,86}{0,65} = 12,13 \text{ MPa}$

Tlak || s vláknami: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{3,67}{21,6} = 0,17 \text{ MPa}$

▪ Posúdenie MSÚ: Kombinácia ohybu a vzperného tlaku:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,17}{0,58 \cdot 17,28} + \frac{12,13}{17,28} \leq 1,0$$

$$0,72 < 1$$

Vyhovuje

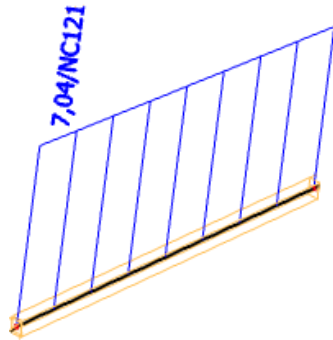
3. Kombinácia ohybu a osového ťahu

❖ Vnútorne sily:

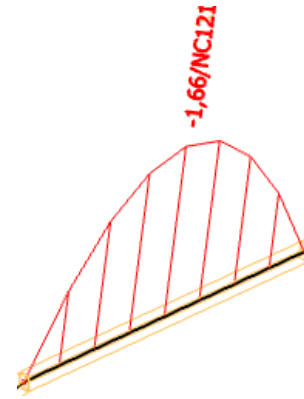
Rozhodujúca kombinácia: NC 121 ($1,0 \cdot LC1 + 1,0 \cdot LC2 + 0,75 \cdot LC4 + 1,50 \cdot LC7$)

Maximálna ťahová sila: $N_{Ed} = 7,04 \text{ kN}$

Príslušný ohybový moment: $M_{Ed,y} = 1,66 \text{ kNm}$



Obrázok 185: Vážnica: Maximálna ťahová sila N_{Ed}



Obrázok 36: Vážnica: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,y}$ k N_{Ed}

❖ Napätie: Ohyb k ose y : $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{1,66}{0,65} = 2,56 \text{ MPa}$

Ťah \parallel s vláknami: $\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{7,04}{21,6} = 0,33 \text{ MPa}$

- Posúdenie MSÚ: Kombinácia ohybu a osového ťahu:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,33}{11,88} + \frac{2,56}{17,28} \leq 1,0$$

$$0,18 < 1$$

Vyhovuje

4. MSP

Najväčšiu deformáciu na vážnici vytvára kombinácia, na základe ktorej boli zistené jednotlivé prieťahy od zaťažovacích stavov, ktoré túto kombináciu tvoria. Posúdený je prieťah okamžitý w_{inst} a konečný w_{fin} . Súčiniteľ dotvarovania k_{def} pre LLD a triedu prostredia 1 je 0,6. Vykreslenie deformácií od zaťažovacích stavov sú zobrazené v prílohe 2.

Okamžitý prieťah:

$$w_{inst, G, LC1} = 0,4 \text{ mm}$$

$$w_{inst, G, LC2} = 1,2 \text{ mm}$$

$$w_{inst, S, LC4} = 8,2 \text{ mm}$$

$$w_{inst, W, LC8} = 4,6 \text{ mm}$$

$$w_{inst} = w_{inst, G} + w_{inst, S} + \psi_{0, W} \cdot w_{inst, W}$$

$$w_{inst} = 0,4 + 1,2 + 8,2 + 0,6 \cdot 4,6 = 12,56 \text{ mm}$$

Konečný prieťah:

$$w_{fin, G, LC1} = w_{inst, G, LC1} \cdot (1 + k_{def}) = 0,4 \cdot (1 + 0,6) = 0,64 \text{ mm}$$

$$w_{fin, G, LC2} = w_{inst, G, LC2} \cdot (1 + k_{def}) = 1,2 \cdot (1 + 0,6) = 1,92 \text{ mm}$$

$$w_{fin, S, LC4} = w_{inst, S, LC4} \cdot (1 + \psi_{2,S} \cdot k_{def}) = 2,1 \cdot (1 + 0 \cdot 2) = 8,2 \text{ mm}$$

$$w_{fin, W, LC8} = w_{inst, W, LC8} \cdot (\psi_{0,W} + \psi_{2,W} \cdot k_{def}) = 1,1 \cdot (0,6 + 0 \cdot 2) = 2,76 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,S} + w_{fin,W} = 0,64 + 1,92 + 8,2 + 2,76 = 13,52 \text{ mm}$$

▪ **Posúdenie MSP:**

Okamžitý prieťah:

$$w_{inst} \leq \frac{L}{300} \Rightarrow 12,56 \text{ mm} < 13,33 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Konečný prieťah:

$$w_{fin} \leq \frac{L}{250} \Rightarrow 13,52 \text{ mm} < 16,00 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

7.2 Rozpera

Strešná rozpera je takisto navrhnutá z LLD triedy GL24h a pôsobí ako prostý nosník s dĺžkou 4 m. Posúdená je na ohyb, šmyk, dvojosiť napätosť v šmyku, dvojosiť ohyb, kombináciu ohybu a vzperného tlaku, a priečnu a torznú stabilitu.

❖ Prierezové charakteristiky:

$$b = 140 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$k_{cr} = 0,67 \text{ (pre LLD)}$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 140 = 93,8 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 93,8 \cdot 200 = 18760 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 140 \cdot 200^2 = 9,3 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

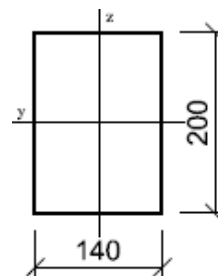
$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 200 \cdot 140^2 = 6,5 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 140 \cdot 200^3 = 9,3 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 140^3 = 4,6 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{9,3 \cdot 10^7}{28000}} = 57,74 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{4,6 \cdot 10^7}{28000}} = 40,42 \text{ mm}$$



Obrázok 37: Návrh prierezu rozpery

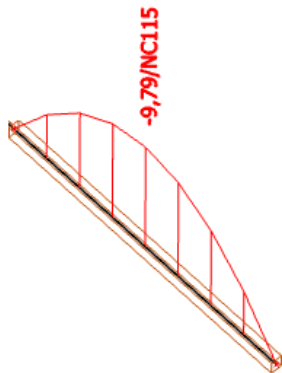
1. Napätie v ohybe, napätie v šmyku

❖ Maximálne vnútorné sily:

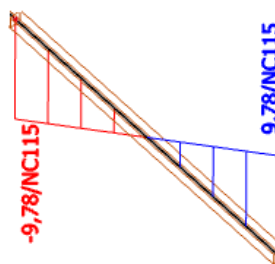
Rozhodujúca kombinácia: NC 115 ($1,00 \cdot LC1 + 1,00 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC9$)

Ohybový moment: $M_{Ed,y} = 9,79 \text{ kNm}$

Šmyková sila: $V_{Ed,z} = 9,78 \text{ kN}$



Obrázok 198: Rozpera: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,y}$



Obrázok 39: Rozpera: Maximálna šmyková sila $V_{Ed,z}$

❖ Napätie: Ohyb:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{9,79}{0,93} = 10,49 \text{ MPa}$$

Šmyk:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,z}}{A_{ef} \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{9,78}{18,76} = 0,78 \text{ MPa}$$

▪ Posúdenie na MSÚ: Ohyb:

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$$

$$10,49 \text{ MPa} < 17,28 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Šmyk:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,78 \text{ MPa} < 2,52 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

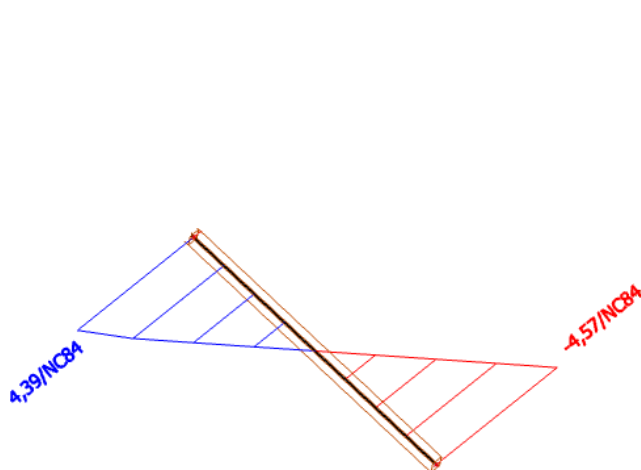
2. Dvojosa napätosť v šmyku

❖ Vnútorné sily:

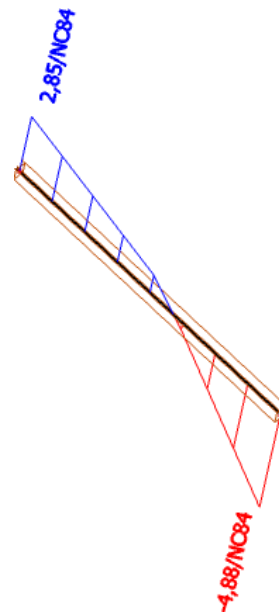
Rozhodujúca kombinácia: NC 84 ($1,35 \cdot LC1 + 1,35 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC13$)

Maximálna šmyková sila: $V_{Ed,y} = 4,57 \text{ kN}$

Príslušná šmyková sila: $V_{Ed,z} = 4,88 \text{ kN}$



Obrázok 40: Rozpera: Maximálna šmyková sila $V_{Ed,y}$



Obrázok 41: Rozpera: Príslušná šmyková sila $V_{Ed,z}$ k $V_{Ed,y}$

❖ Napätie: Šmyk v smere osi y: $\tau_{d,y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,y}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4,57}{28} = 0,24 \text{ MPa}$

Šmyk v smere osi z: $\tau_{d,z} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,z}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4,88}{28} = 0,26 \text{ MPa}$

▪ Posúdenie na MSÚ: Dvojosí šmyk: $\frac{\sqrt{\tau_{d,y}^2 + \tau_{d,z}^2}}{f_{v,d}} \leq 1 \Rightarrow \frac{\sqrt{0,24^2 + 0,26^2}}{2,52} \leq 1$

0,14 < 1 **Vyhovuje**

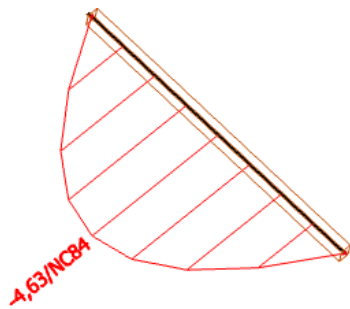
3. Dvojosí ohyb

❖ Vnútorne sily:

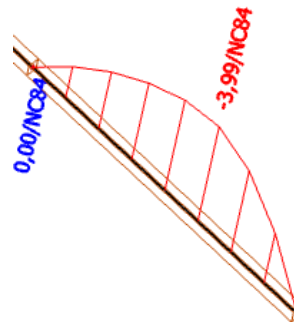
Rozhodujúca kombinácia: NC 84 (1,35 · LC1 + 1,35 · LC2 + 1,5 · LC13)

Maximálny ohybový moment: $M_{Ed,z} = 4,63 \text{ kNm}$

Príslušný ohybový moment: $M_{Ed,y} = 3,99 \text{ kNm}$



Obrázok 42: Rozpera: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,z}$



Obrázok 43: Rozpera: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,y}$ k $M_{Ed,z}$

❖ Napätie: Ohyb k ose y: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{3,99}{0,93} = 4,28 \text{ MPa}$

Ohyb k ose z: $\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z \cdot 10^{-6}} = \frac{4,63}{0,65} = 7,09 \text{ MPa}$

- **Posúdenie na MSÚ:** Dvojosí ohyb:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{4,28}{17,28} + 0,7 \frac{7,09}{17,28} \leq 1,0$$

$$0,53 < 1$$

Vyhovuje

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow 0,7 \frac{4,28}{17,28} + \frac{7,09}{17,28} \leq 1,0$$

$$0,58 < 1$$

Vyhovuje

4. Kombinácia ohybu a vzperného tlaku

$L_{cr,y} = 4005 \text{ mm}$ (vybočenie v ose y)

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4005}{57,74} = 69,37$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{69,37}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,1$$

$\beta_c = 0,1$ (pre LLD drevo)

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 (1,1 - 0,3) + 1,1^2] = 1,15$$

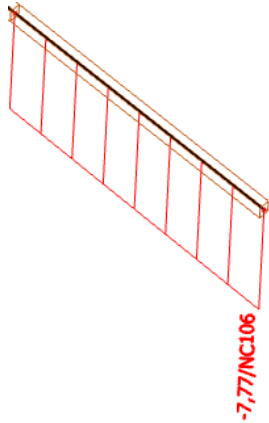
$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,15 + \sqrt{1,15^2 - 1,1^2}} = 0,68$$

❖ Vnútorne sily:

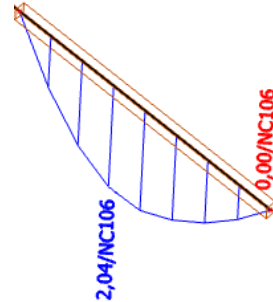
Rozhodujúca kombinácia: NC 106 ($1,35 \cdot LC1 + 1,35 \cdot LC2 + 0,75 \cdot LC4 + 1,5 \cdot LC14$)

Maximálna tlaková sila: $N_{Ed} = 7,77 \text{ kN}$

Príslušný ohybový moment: $M_{Ed,y} = 2,04 \text{ kNm}$



Obrázok 44: Rozpera: Maximálna tlaková sila N_{Ed}



Obrázok 45: Rozpera: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,y}$ k N_{Ed}

❖ Napätie: Ohyb k ose y: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{2,04}{0,93} = 2,19 \text{ MPa}$

Tlak || s vláknami: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{7,77}{28} = 0,28 \text{ MPa}$

- Posúdenie na MSÚ: Kombinácia ohybu a vzperného tlaku:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,28}{0,68 \cdot 17,28} + 0,7 \frac{2,19}{17,28} \leq 1,0$$

$$0,15 < 1$$

Vyhovuje

5. Klopenie (priechna a torzná stabilita)

❖ Vnútorná sila: Maximálny ohybový moment: $M_{Ed,y} = 9,79 \text{ kNm}$ (obr. 38)

❖ Kritické napätie: $\sigma_{m,crit} = \frac{0,75 \cdot b^2 E_{0,05}}{h \cdot l_{ef}} = \frac{0,75 \cdot 140^2 \cdot 9600}{200 \cdot 0,9 \cdot 4005} = 195,76 \text{ MPa}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{195,76}} = 0,35$$

$$k_{crit} = 1 \text{ (pre } \lambda_{rel,m} \leq 0,75)$$

- Posúdenie na MSÚ: Klopenie (priechna a torzná stabilita):

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{10,49}{1 \cdot 17,28} \leq 1,0$$

$$0,61 < 1$$

Vyhovuje

6. MSP

Rozpera na ktorej vzniká najväčší priehyb v smere z je dlhá 4000 mm. V smere y vzniká priehyb len na odkvapových rozperách, konkrétne, najväčší na rozpere s dĺžkou 4050 mm. Hodnoty prevzaté z programu SCIA Engineer sú vykreslené v prílohe 2.

Okamžitý priehyb:

smere z	smere y
$w_{inst, G, LC1} = 0,3 \text{ mm}$	$w_{inst, G, LC1} = 0,0 \text{ mm}$
$w_{inst, G, LC2} = 1,4 \text{ mm}$	$w_{inst, G, LC2} = 0,0 \text{ mm}$
$w_{inst, W, LC9} = 11,6 \text{ mm}$	$w_{inst, W, LC13} = 10,1 \text{ mm}$

$$w_{inst} = w_{inst, G} + \psi_{0, W} \cdot w_{inst, W}$$

$$\text{smere z : } w_{inst, z} = 0,3 + 1,4 + 0,6 \cdot 11,6 = 8,66 \text{ mm}$$

$$\text{smere y : } w_{inst, y} = 0,0 + 0,0 + 0,6 \cdot 10,1 = 6,06 \text{ mm}$$

Konečný priehyb:

$$w_{fin, G, LC1} = w_{inst, G, LC1} \cdot (1 + k_{def}) = 0,3 \cdot (1 + 0,6) = 0,48 \text{ mm}$$

$$w_{fin, G, LC2} = w_{inst, G, LC2} \cdot (1 + k_{def}) = 1,4 \cdot (1 + 0,6) = 2,24 \text{ mm}$$

$$w_{fin, W, LC9} = w_{inst, W, LC9} \cdot (\psi_{0, W} + \psi_{2, W} \cdot k_{def}) = 11,6 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,6) = 6,96 \text{ mm}$$

$$w_{fin, z} = w_{fin, G} + w_{fin, W} = 0,48 + 2,24 + 6,96 = 9,68 \text{ mm}$$

smere y

$$w_{fin, G, LC1} = w_{inst, G, LC1} \cdot (1 + k_{def}) = 0,0 \cdot (1 + 0,6) = 0,0 \text{ mm}$$

$$w_{fin, G, LC2} = w_{inst, G, LC2} \cdot (1 + k_{def}) = 0,0 \cdot (1 + 0,6) = 0,0 \text{ mm}$$

$$w_{fin, W, LC13} = w_{inst, W, LC13} \cdot (\psi_{0, W} + \psi_{2, W} \cdot k_{def}) = 10,1 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,6) = 6,06 \text{ mm}$$

$$w_{fin, y} = w_{fin, G} + w_{fin, W} = 0,0 + 0,0 + 6,06 = 6,06 \text{ mm}$$

❖ Posúdenie na MSP:

Okamžitý priehyb:

$$\text{smere z } w_{inst} \leq \frac{L}{300} \Rightarrow 8,66 \text{ mm} < 13,33 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\text{smere y } w_{inst} \leq \frac{L}{250} \Rightarrow 9,68 \text{ mm} < 16 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Konečný priehyb:

$$\text{smere z } w_{fin} \leq \frac{L}{300} \Rightarrow 6,06 \text{ mm} < 13,5 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\text{smere y } w_{fin} \leq \frac{L}{250} \Rightarrow 6,06 \text{ mm} < 16,2 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

7.3 Vzpera (stĺp)

Vzpera, podopierajúci stĺp väzníkov, je navrhnutá z LLD triedy GL24h. Výška vzpier sa na jednotlivých prútoch mení od 6,88 m do 9,52 m. Na MSP a MSÚ sú posúdené tie, na ktorých vznikajú najväčšie vnútorné sily, príp. deformácie. Podľa MSÚ je vykonaný posudok na ohyb, šmyk, dvojosiť napätosť v šmyku, kombináciu ohybu a vzperného tlaku a klopenie.

❖ Prierezové charakteristiky

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$k_{cr} = 0,67 \text{ (pre LLD drevo)}$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 180 = 120,6 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 120,6 \cdot 800 = 96480 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 180 \cdot 800^2 = 1,9 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

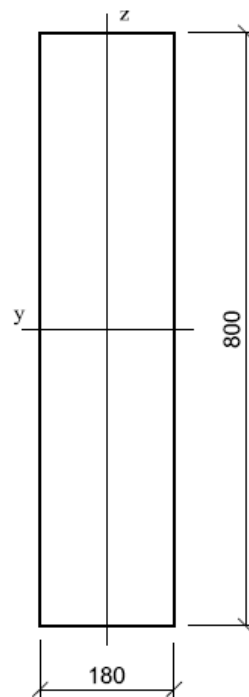
$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 800 \cdot 180^2 = 4,3 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 180 \cdot 800^3 = 7,7 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 800 \cdot 180^3 = 3,9 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{7,7 \cdot 10^9}{144000}} = 230,94 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{3,9 \cdot 10^8}{144000}} = 51,96 \text{ mm}$$



Obrázok 46: Návrh prierezu vzpery

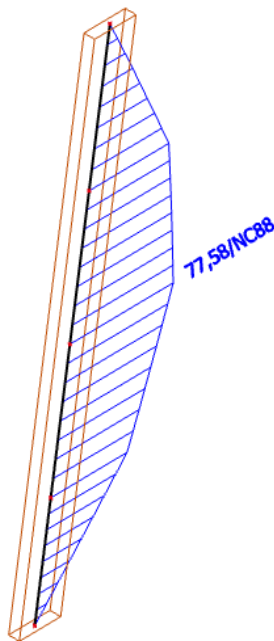
1. Napätie v ohybe, napätie v šmyku

❖ Maximálne vnútorné sily:

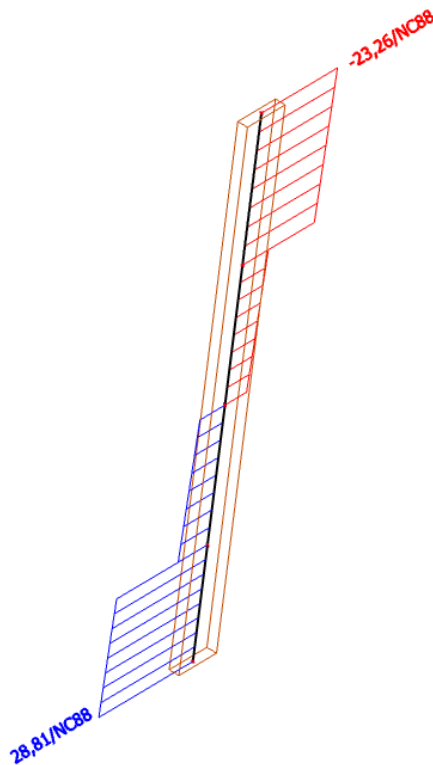
Rozhodujúca kombinácia: NC 88 (1,35 · LC1 + 1,35 · LC2 + 0,75 · LC4 + 1,5 · LC8)

Ohybový moment: $M_{Ed,y} = 77,58 \text{ kNm}$

Šmyková sila: $V_{Ed,z} = 28,81 \text{ kN}$



Obrázok 20: Vzpera: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,y}$



Obrázok 48: Vzpera: Maximálna šmyková sila $V_{Ed,z}$

❖ Napätie: Ohyb:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{77,58}{19,2} = 4,04 \text{ MPa}$$

Šmyk:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,z}}{A_{ef} \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{28,81}{96,48} = 0,45 \text{ MPa}$$

▪ Posúdenie na MSÚ: Ohyb:

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$$

$$4,04 \text{ MPa} < 17,28 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Šmyk:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,45 \text{ MPa} < 2,52 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

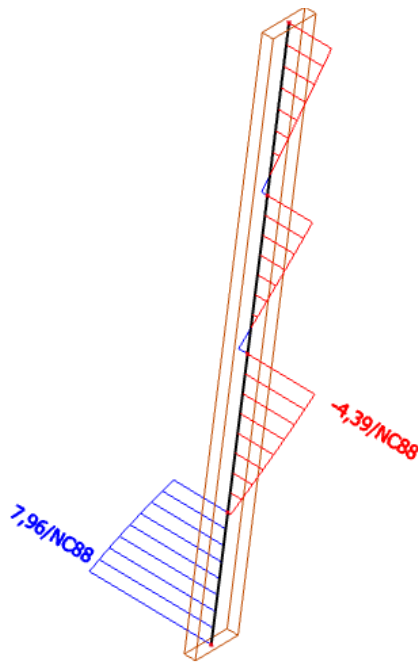
2. Dvojsoá napätosť v šmyku

❖ Vnútorne sily:

Rozhodujúca kombinácia: NC 88 ($1,35 \cdot \text{LC1} + 1,35 \cdot \text{LC2} + 0,75 \cdot \text{LC4} + 1,5 \cdot \text{LC8}$)

Maximálna šmyková sila: $V_{Ed,z} = 28,81 \text{ kN}$ (obr. 48)

Príslušná šmyková sila: $V_{Ed,y} = 7,96 \text{ kN}$



Obrázok 49: Vzpera: Príslušná posúvajúca sila $V_{Ed,y}$ k $V_{Ed,z}$

❖ Napätie: Šmyk v smere osi y : $\tau_{d,y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,y}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{7,96}{144} = 0,08 \text{ MPa}$

Šmyk v smere osi z : $\tau_{d,z} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,z}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{28,81}{144} = 0,30 \text{ MPa}$

▪ Posúdenie na MSÚ: Dvojosí šmyk: $\frac{\sqrt{\tau_{d,y}^2 + \tau_{d,z}^2}}{f_{v,d}} \leq 1 \Rightarrow \frac{\sqrt{0,08^2 + 0,30^2}}{2,52} \leq 1$

$0,12 < 1$

Vyhovuje

3. Kombinácia ohybu a vzperného tlaku

$L_{cr,y} = 8990 \text{ mm}$ (vybočenie v smere osi y)

$L_{cr,z} = 2200 \text{ mm}$ (vybočenie v smere osi z)

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{8990}{230,94} = 38,93$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2200}{51,96} = 42,34$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{38,93}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,62$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{42,34}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,67$$

$\beta_c = 0,1$ (pre LLD drevo)

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1(0,62 - 0,3) + 0,62^2] = 0,71$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1(0,67 - 0,3) + 0,67^2] = 0,75$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,62^2}} = 0,95$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,75 + \sqrt{0,75^2 - 0,67^2}} = 0,94$$

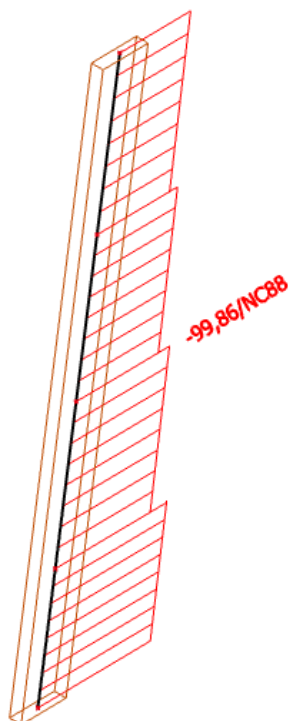
❖ Vnútorne sily:

Rozhodujúca kombinácia: NC 88 ($1,35 \cdot LC1 + 1,35 \cdot LC2 + 0,75 \cdot LC4 + 1,5 \cdot LC8$)

Maximálny ohybový moment: $M_{Ed,y} = 77,58 \text{ kNm}$ (obr. 47)

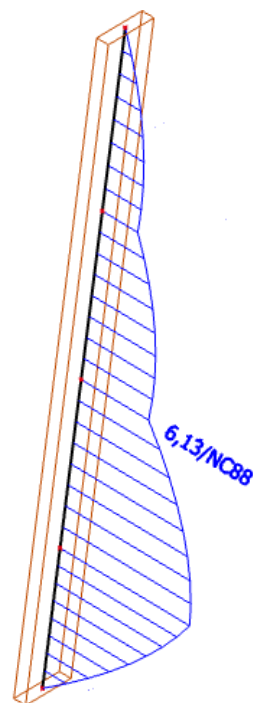
Príslušná tlaková sila: $N_{Ed} = 99,86 \text{ kN}$

Príslušný ohybový moment: $M_{Ed,z} = 6,13 \text{ kNm}$



Obrázok 5021: Vzpera: Príslušná tlaková sila N_{Ed}

$k M_{Ed,y}$



Obrázok 5122: Vzpera: Príslušný ohybový

moment $M_{Ed,z}$ $k M_{Ed,y}$

❖ Napätie: Ohyb k ose y: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{77,58}{19,2} = 4,04 \text{ MPa}$

Ohyb k ose z: $\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z \cdot 10^{-6}} = \frac{6,13}{4,32} = 1,42 \text{ MPa}$

Tlak || s vláknami: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{99,86}{144} = 0,69 \text{ MPa}$

- Posúdenie na MSÚ: Kombinácia ohybu s vzperného tlaku:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,69}{0,94 \cdot 17,28} + \frac{1,42}{17,28} + 0,7 \frac{4,04}{17,28} \leq 1,0$$

0,29 < 1 **Vyhovuje**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,69}{0,95 \cdot 17,28} + 0,7 \frac{1,42}{17,28} + \frac{4,04}{17,28} \leq 1,0$$

0,33 < 1 **Vyhovuje**

4. Klopenie (priechna a torzná stabilita)

❖ Vnútoraná sila: Maximálny ohybový moment: $M_{Ed,y} = 77,58 \text{ kNm}$ (obr. 47)

❖ Kritické napätie: $\sigma_{m,crit} = \frac{0,75 \cdot b^2 E_{0,05}}{h \cdot l_{ef}} = \frac{0,75 \cdot 180^2 \cdot 9600}{800 \cdot 0,9 \cdot 8990} = 36,04 \text{ MPa}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{36,04}} = 0,82$$

$$k_{crit} = 0,95 \text{ (pre } \lambda_{rel,m} > 0,75 \text{ a } \lambda_{rel,m} < 1,4)$$

- Posúdenie na MSÚ: Klopenie (priechna a torzná stabilita):

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{4,04}{0,95 \cdot 17,28} \leq 1,0$$

0,25 < 1 **Vyhovuje**

5. MSP

Najväčší priehyb v smere z je na najdlhšej vzpere s dĺžkou 9,52 m. V ose y vzniká pri krajnej vzpere dlhej 7,54 m, kvôli pôsobiacemu pozdĺžnemu vetru. Znázornené sú v prílohe 2.

Okamžitý priehyb:

smer y	smer z
$w_{inst, G, LC1} = 0,8 \text{ mm}$	$w_{inst, G, LC1} = 0,2 \text{ mm}$
$w_{inst, G, LC2} = -3,8 \text{ mm}$	$w_{inst, G, LC2} = 0,5 \text{ mm}$
$w_{inst, S, LC4} = 3,3 \text{ mm}$	$w_{inst, S, LC6} = 0,1 \text{ mm}$
$w_{inst, W, LC8} = 71,5 \text{ mm}$	$w_{inst, W, LC7} = 5,0 \text{ mm}$

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,S} + \psi_{0,W} \cdot w_{inst,W}$$

$$\text{smer } y : w_{inst} = 0,8 - 3,8 + 3,3 + 0,6 \cdot 71,5 = 43,2 \text{ mm}$$

$$\text{smer } z : w_{inst} = 0,2 + 0,5 + 0,1 + 0,6 \cdot 5,0 = 3,8 \text{ mm}$$

Konečný priehyb: smer y

$$w_{fin,G,LC1} = w_{inst,G,LC1} \cdot (1 + k_{def}) = 0,8 \cdot (1 + 0,6) = 1,28 \text{ mm}$$

$$w_{fin,G,LC2} = w_{inst,G,LC2} \cdot (1 + k_{def}) = -3,8 \cdot (1 + 0,6) = -6,08 \text{ mm}$$

$$w_{fin,S,LC4} = w_{inst,S,LC4} \cdot (1 + \psi_{2,S} \cdot k_{def}) = 3,3 \cdot (1 + 0 \cdot 0,6) = 3,3 \text{ mm}$$

$$w_{fin,W,LC8} = w_{inst,W,LC8} \cdot (\psi_{0,W} + \psi_{2,W} \cdot k_{def}) = 71,5 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,6) = 42,9 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,S} + w_{fin,W} = 1,28 - 6,08 + 3,3 + 42,9 = 41,4 \text{ mm}$$

smer z

$$w_{fin,G,LC1} = w_{inst,G,LC1} \cdot (1 + k_{def}) = 0,2 \cdot (1 + 0,6) = 0,32 \text{ mm}$$

$$w_{fin,G,LC2} = w_{inst,G,LC2} \cdot (1 + k_{def}) = 0,5 \cdot (1 + 0,6) = 0,8 \text{ mm}$$

$$w_{fin,S,LC6} = w_{inst,S,LC6} \cdot (1 + \psi_{2,S} \cdot k_{def}) = 0,1 \cdot (1 + 0 \cdot 0,6) = 0,1 \text{ mm}$$

$$w_{fin,W,LC7} = w_{inst,W,LC7} \cdot (\psi_{0,W} + \psi_{2,W} \cdot k_{def}) = 5,0 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,6) = 3,0 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,S} + w_{fin,W} = 0,32 + 0,8 + 0,1 + 3,0 = 4,22 \text{ mm}$$

❖ Posúdenie na MSP:

Okamžitý priehyb:

$$\text{smer } z \quad w_{inst} \leq \frac{L}{300} \Rightarrow 3,8 \text{ mm} < 31,73 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\text{smer } y \quad w_{inst} \leq \frac{L}{150} \Rightarrow 43,2 \text{ mm} < 50,26 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Konečný priehyb:

$$\text{smer } z \quad w_{fin} \leq \frac{L}{250} \Rightarrow 4,22 \text{ mm} < 38,08 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\text{smer } y \quad w_{fin} \leq \frac{L}{150} \Rightarrow 41,4 \text{ mm} < 50,26 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

7.4 Väzník

Väzník, najväčší prvok nosnej konštrukcie haly je z LLD triedy GL28h. Rozdiel v dĺžke medzi najkratšími (bočnými) a najväčším väzníkom je 13 cm. Posudok je vykonaný na napätie v ohybe a v šmyku, dvojosiu napätosť v šmyku, kombináciu ohybu s osovým ťahom, so vzperným tlakom, klopenie (stratu priečnej a torznej stability) a posúdený je aj tlak kolmo k vláknám väzníku od maximálnej vznikajúcej tlakovej sily z rozpery a zo vzpery.

❖ Prierezové charakteristiky:

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$h = 1400 \text{ mm}$$

$$k_{cr} = 0,67 \text{ (pre.LLD)}$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 180 = 120,6 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 120,6 \cdot 1400 = 168840 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 180 \cdot 1400^2 = 5,9 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

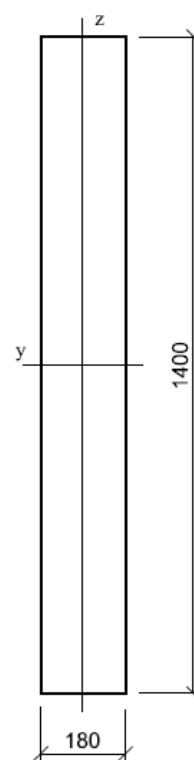
$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 1400 \cdot 180^2 = 7,56 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 180 \cdot 1400^3 = 4,1 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 1400 \cdot 180^3 = 6,8 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{4,1 \cdot 10^{10}}{252000}} = 404,15 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{6,8 \cdot 10^8}{252000}} = 51,96 \text{ mm}$$



Obrázok 52: Návrh prierezu väznika

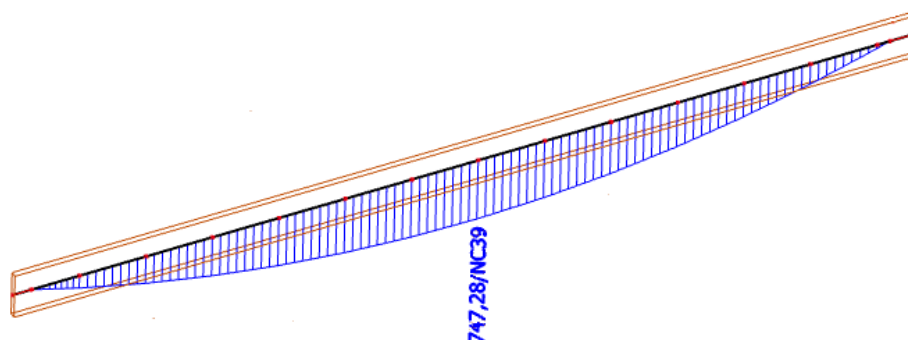
1. Napätie v ohybe, napätie v šmyku

❖ Maximálne vnútorné sily:

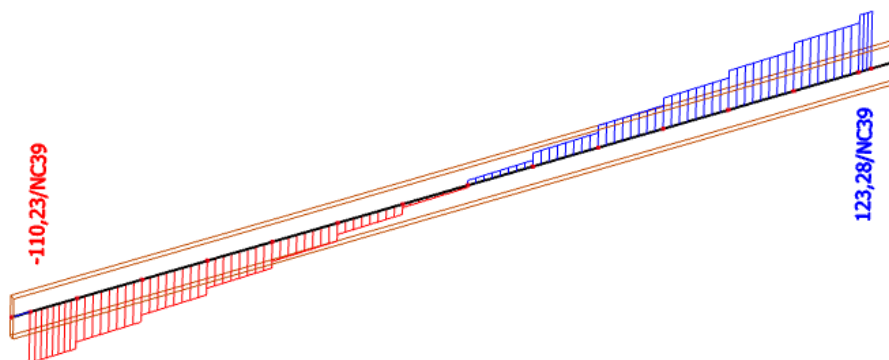
Rozhodujúca kombinácia: NC 39 ($1,35 \cdot \text{LC1} + 1,35 \cdot \text{LC2} + 1,5 \cdot \text{LC6} + 0,9 \cdot \text{LC14}$)

Ohybový moment: $M_{Ed,y} = 747,28 \text{ kNm}$

Šmyková sila: $V_{Ed,z} = 123,28 \text{ kN}$



Obrázok 23: Väzník: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,y}$



Obrázok 24: Vážnik: Maximálna šmyková sila $V_{Ed,z}$

❖ Napätie: Ohyb:
$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{747,28}{58,8} = 12,71 \text{ MPa}$$

Šmyk:
$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,z}}{A_{ef} \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{123,28}{168,84} = 1,10 \text{ MPa}$$

▪ Posúdenie na MSÚ: Ohyb:
$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$$

12,71 MPa < 20,16 MPa Vyhovuje

Šmyk:
$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

1,10 MPa < 2,52 MPa Vyhovuje

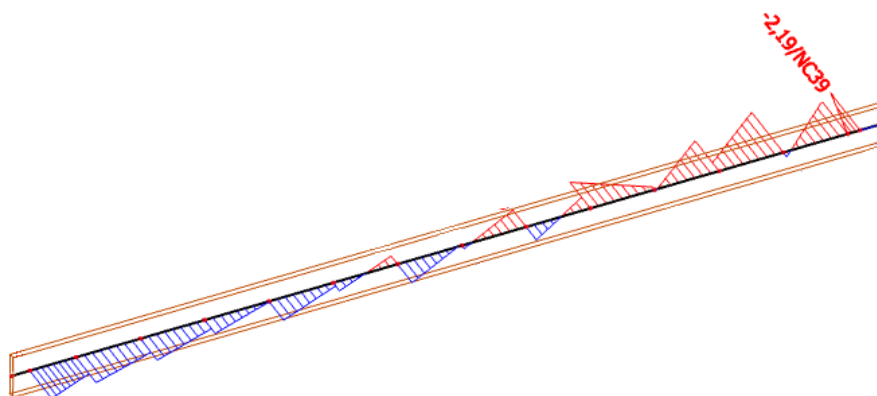
2. Dvojosá napätosť v šmyku

❖ Vnútorne sily:

Rozhodujúca kombinácia: NC 39 ($1,35 \cdot LC1 + 1,35 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC6 + 0,9 \cdot LC14$)

Maximálna šmyková sila: $V_{Ed,z} = 123,28 \text{ kN}$ (obr. 54)

Príslušná šmyková sila: $V_{Ed,y} = 2,19 \text{ kN}$



Obrázok 5525: Vážnik: Príslušná šmyková sila $V_{Ed,y}$ k $V_{Ed,z}$

❖ Napätie: Šmyk v smere osi y: $\tau_{d,y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,y}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{2,19}{252} = 0,01 \text{ MPa}$

Šmyk v smere osi z: $\tau_{d,z} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,z}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{123,28}{252} = 0,73 \text{ MPa}$

▪ Posúdenie na MSÚ: Dvojosí šmyk: $\frac{\sqrt{\tau_{d,y}^2 + \tau_{d,z}^2}}{f_{v,d}} \leq 1 \Rightarrow \frac{\sqrt{0,01^2 + 0,73^2}}{2,52} \leq 1$
0,29 < 1 **Vyhovuje**

3. Kombinácia ohybu a osového ťahu

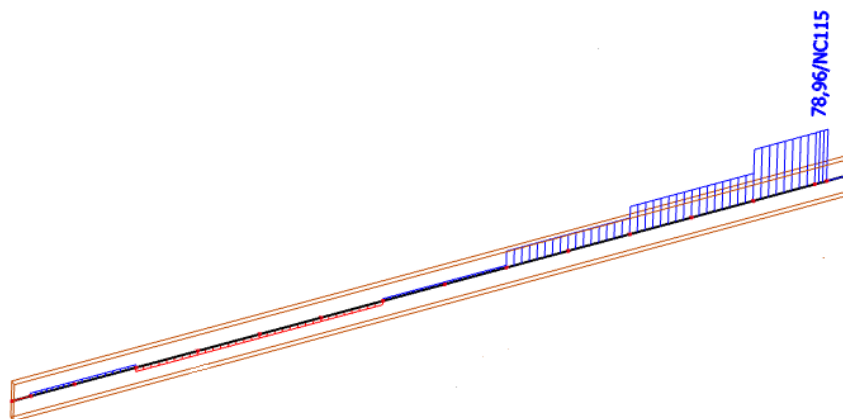
❖ Vnútorne sily:

Rozhodujúca kombinácia: NC 115 (1,0 · LC1 + 1,0 · LC2 + 1,5 · LC9)

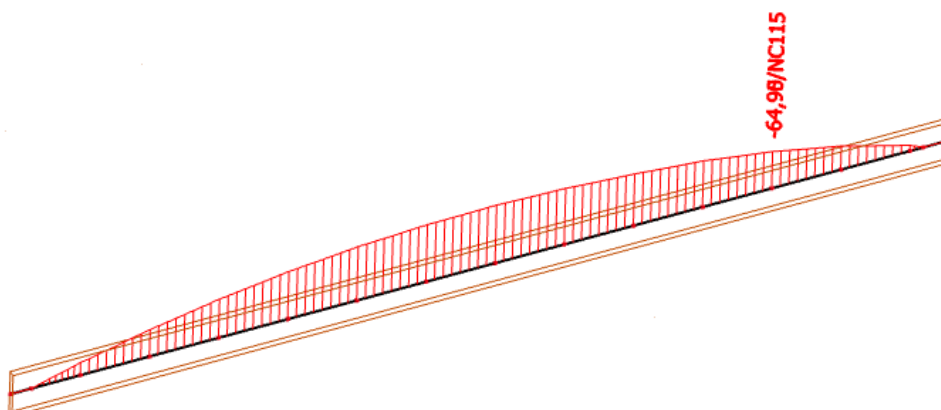
Maximálna ťahová sila: $N_{Ed} = 78,96 \text{ kN}$

Príslušný ohybový moment $M_{Ed,y} = 64,98 \text{ kNm}$

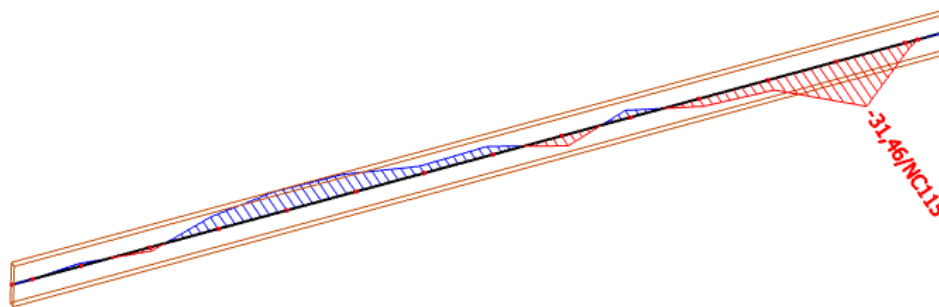
Príslušný ohybový moment: $M_{Ed,z} = 31,46 \text{ kNm}$



Obrázok 5626: Väzník: Maximálna ťahová sila N_{Ed}



Obrázok 5727: Väzník: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,y}$ k N_{Ed}



Obrázok 5828: Vážnik: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,z}$ k N_{Ed}

❖ Napätie: Ohyb k ose y: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{64,98}{58,8} = 1,11 \text{ MPa}$

Ohyb k ose z: $\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z \cdot 10^{-6}} = \frac{31,46}{7,56} = 4,16 \text{ MPa}$

Ťah \parallel s vláknami: $\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{78,96}{252} = 0,31 \text{ MPa}$

- Posúdenie na MSÚ: Kombinácia ohybu a osového ťahu:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,31}{14,04} + \frac{1,11}{20,16} + 0,7 \frac{4,16}{20,16} \leq 1,0$$

0,22 < 1 **Vyhovuje**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,31}{14,04} + 0,7 \frac{1,11}{20,16} + \frac{4,16}{20,16} \leq 1,0$$

0,27 < 1 **Vyhovuje**

4. Kombinácia ohybu a vzperného tlaku

$$L_{cr,y} = 25500 \text{ mm (vybočenie v smere osi y)}$$

$$L_{cr,z} = 1860 \text{ mm (vybočenie z smere osi z)}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{25500}{404,15} = 63,10$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{1860}{51,96} = 35,80$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{63,10}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{10500}} = 1,01$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{35,80}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{10500}} = 0,57$$

$\beta_c = 0,1$ (pre LLD drevo)

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1(1,01 - 0,3) + 1,01^2] = 1,04$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1(0,57 - 0,3) + 0,57^2] = 0,68$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,04 + \sqrt{1,04^2 - 1,01^2}} = 0,76$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,57^2}} = 0,96$$

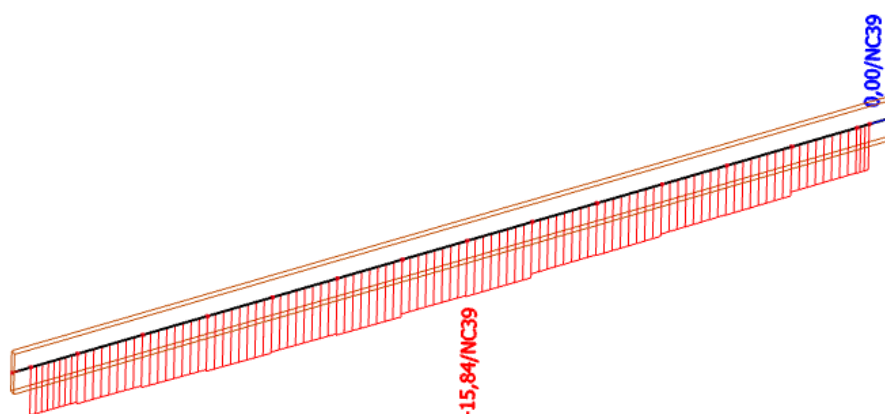
❖ Vnútorne sily:

Rozhodujúca kombinácia: NC 39 ($1,35 \cdot LC1 + 1,35 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC6 + 0,9 \cdot LC14$)

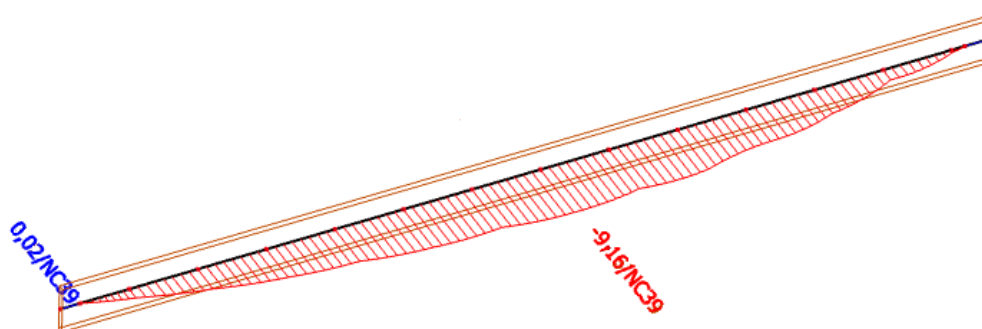
Maximálny ohybový moment: $M_{Ed,y} = 747,28 \text{ kNm}$ (obr. 53)

Príslušná tlaková sila: $N_{Ed} = 15,84 \text{ kN}$

Príslušný ohybový moment: $M_{Ed,z} = 9,16 \text{ kNm}$



Obrázok 5929: Vážnik: Príslušná tlaková sila N_{Ed} k $M_{Ed,y}$



Obrázok 30: Vážnik: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,z}$ k $M_{Ed,y}$

❖ Napätie: Ohyb k ose y: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{747,28}{58,8} = 12,71 \text{ MPa}$

Ohyb k ose z: $\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z \cdot 10^{-6}} = \frac{9,16}{7,56} = 1,21 \text{ MPa}$

Tlak || s vláknami: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{15,84}{252} = 0,06 \text{ MPa}$

- **Posúdenie na MSÚ:** Kombinácia ohybu a vzperného tlaku:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,06}{0,96 \cdot 19,08} + \frac{1,21}{20,16} + 0,7 \frac{12,71}{20,16} \leq 1,0$$

0,51 < 1 **Vyhovuje**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,06}{0,76 \cdot 19,08} + 0,7 \frac{1,21}{20,16} + \frac{12,71}{20,16} \leq 1,0$$

0,68 < 1 **Vyhovuje**

5. Klopenie (priečna a torzná stabilita)

- ❖ Vnútoraná sila:

Maximálny ohybový moment: $M_{Ed,y} = 747,28 \text{ kNm}$ (obr.53)

- ❖ Kritické napätie: $\sigma_{m,crit} = \frac{0,75 \cdot b^2 E_{0,05}}{h \cdot l_{ef}} = \frac{0,75 \cdot 180^2 \cdot 10500}{1400 \cdot 0,9 \cdot 1800} = 101,25 \text{ MPa}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{28}{101,25}} = 0,53$$

$$k_{crit} = 1 \text{ (pre } \lambda_{rel,m} \leq 0,75)$$

- **Posúdenie na MSÚ:** Klopenie (priečna a torzná stabilita):

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{12,71}{1 \cdot 20,16} \leq 1,0$$

0,63 < 1 **Vyhovuje**

6. Tlak kolmo k vláknam (od rozpery)

Rozmery rozpery : $(\ell \times h) = 140 \times 200 \text{ mm}$ ℓ - kontaktná dĺžka

- ❖ Účinná plocha: $A_{ef} = (30 + \ell + 30) \cdot h = (30 + 140 + 30) \cdot 200 = 40 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$

❖ Vnútoraná sila:

Maximálna tlaková sila (od rozpery): $N_{Ed} = F_{c,90,d} = 7,77 \text{ kN}$ (obr.44)

❖ Napätie: $\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{7,77}{40000} = 0,19 \text{ MPa}$

$k_{c,90} = 1,75$ (pre LLD za predpokladu že $\ell \leq 400 \text{ mm}$)

▪ Posúdenie na MSÚ: Tlak kolmo k vláknám:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \Rightarrow 0,19 \leq 1,75 \cdot 2,16$$

$$0,19 < 3,78$$

Vyhovuje

7. Tlak kolmo k vláknám (od vzpery)

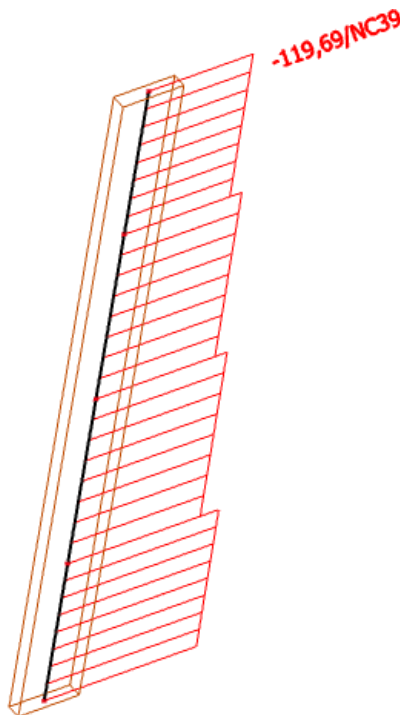
Rozmery vzpery : (b x ℓ) = 180 x 800 mm

ℓ - kontaktná dĺžka

❖ Účinná plocha: $A_{ef} = (30 + \ell + 30) \cdot h = (30 + 800 + 30) \cdot 180 = 154,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$

❖ Vnútoraná sila:

Maximálna tlaková sila (od vzpery): $N_{Ed} = 119,69 \text{ kN}$



Obrázok 61: Vzpera: Maximálna tlaková sila N_{Ed} pri väzníku

Tlaková sila $F_{c,90,d}$ pôsobí pod uhlom 9° od vertikálnej roviny, takže bude zmenšená o hodnotu sily vznikajúcej pod týmto uhlom.

Tlaková sila pod uhlom 9° (od vzpery): $F_{c,90,d} = N_{Ed} \cdot \cos 9^\circ = 118,22 \text{ kN}$

❖ Napätie: $\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{118,22}{154800} = 0,76 \text{ MPa}$

$$k_{c,90} = 1,00$$

▪ Posúdenie na MSÚ: Tlak kolmo k vláknám:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \Rightarrow 0,76 \leq 1,00 \cdot 2,16$$

$$0,76 < 2,16$$

Vyhovuje

8. MSP

Maximálna deformácia v smere z aj v smere y sa nachádza na väzníku s dĺžkou 25,5 m. Hodnoty priehybov od zaťažovacích stavov sú zobrazené v prílohe 2.

Okamžitý priehyb:

smere y

smere z

$$w_{inst, G, LC1} = 0,9 \text{ mm}$$

$$w_{inst, G, LC1} = 14,2 \text{ mm}$$

$$w_{inst, G, LC2} = -3,4 \text{ mm}$$

$$w_{inst, G, LC2} = 9,6 \text{ mm}$$

$$w_{inst, S, LC6} = 3,6 \text{ mm}$$

$$w_{inst, S, LC6} = 37,5 \text{ mm}$$

$$w_{inst, W, LC7} = 72,1 \text{ mm}$$

$$w_{inst, W, LC14} = 16,8 \text{ mm}$$

$$w_{inst} = w_{inst, G} + w_{inst, S} + \psi_{0, W} \cdot w_{inst, W}$$

$$\text{smere } y : w_{inst} = 0,9 - 3,4 + 3,6 + 0,6 \cdot 72,1 = 44,36 \text{ mm}$$

$$\text{smere } z : w_{inst} = 14,2 + 9,6 + 37,5 + 0,6 \cdot 16,8 = 71,38 \text{ mm}$$

Konečný priehyb:

smere y

$$w_{fin, G, LC1} = w_{inst, G, LC1} \cdot (1 + k_{def}) = 0,9 \cdot (1 + 0,6) = 1,44 \text{ mm}$$

$$w_{fin, G, LC2} = w_{inst, G, LC2} \cdot (1 + k_{def}) = -3,4 \cdot (1 + 0,6) = -5,44 \text{ mm}$$

$$w_{fin, S, LC6} = w_{inst, S, LC6} \cdot (1 + \psi_{2, S} \cdot k_{def}) = 3,6 \cdot (1 + 0 \cdot 0,6) = 3,6 \text{ mm}$$

$$w_{fin, W, LC7} = w_{inst, W, LC7} \cdot (\psi_{0, W} + \psi_{2, W} \cdot k_{def}) = 72,1 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,6) = 43,26 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin, G} + w_{fin, S} + w_{fin, W} = 1,44 - 5,44 + 3,6 + 43,26 = 42,86 \text{ mm}$$

smere z

$$w_{fin, G, LC1} = w_{inst, G, LC1} \cdot (1 + k_{def}) = 14,2 \cdot (1 + 0,6) = 22,72 \text{ mm}$$

$$w_{fin, G, LC2} = w_{inst, G, LC2} \cdot (1 + k_{def}) = 9,6 \cdot (1 + 0,6) = 15,36 \text{ mm}$$

$$w_{fin, S, LC6} = w_{inst, S, LC6} \cdot (1 + \psi_{2, S} \cdot k_{def}) = 37,5 \cdot (1 + 0 \cdot 0,6) = 37,5 \text{ mm}$$

$$w_{fin, W, LC14} = w_{inst, W, LC14} \cdot (\psi_{0, W} + \psi_{2, W} \cdot k_{def}) = 16,8 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,6) = 10,08 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin, G} + w_{fin, S} + w_{fin, W} = 22,72 + 15,36 + 37,5 + 10,8 = 85,66 \text{ mm}$$

❖ Posúdenie na MSP:

Okamžitý priehyb:

$$\text{smer } z \quad w_{inst} \leq \frac{L}{300} \Rightarrow 71,38 \text{ mm} < 85,0 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\text{smer } y \quad w_{inst} \leq \frac{L}{300} \Rightarrow 44,36 \text{ mm} < 85,0 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Konečný priehyb:

$$\text{smer } z \quad w_{fin} \leq \frac{L}{250} \Rightarrow 85,66 \text{ mm} < 102,0 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\text{smer } y \quad w_{fin} \leq \frac{L}{250} \Rightarrow 42,86 \text{ mm} < 102,0 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

7.5 Štítový stĺp

Štítové stĺpy vo fasáde haly sú samostatne stojace a prenášajú účinky od vetra pôsobiaceho na zvislé steny. Navrhnuté sú z LLD triedy GL24h a výškou 6800 mm. Posudky podľa MSÚ sú na ohyb, šmyk, dvojsoj ohyb, kombináciu ohybu a vzperného tlaku a klopenie.

❖ Prierezové charakteristiky

$$b = 280 \text{ mm}$$

$$h = 220 \text{ mm}$$

$$k_{cr} = 0,67 \text{ (pre LLD)}$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 280 = 187,6 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 187,6 \cdot 220 = 41272 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 280 \cdot 220^2 = 2,3 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

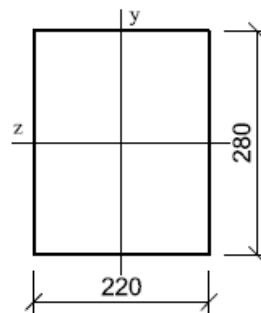
$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 220 \cdot 280^2 = 2,9 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 280 \cdot 220^3 = 2,5 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 220 \cdot 280^3 = 4,0 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 10^8}{61600}} = 63,51 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{4,0 \cdot 10^8}{61600}} = 80,83 \text{ mm}$$



Obrázok 6231: Návrh prierezu štítového stĺpu

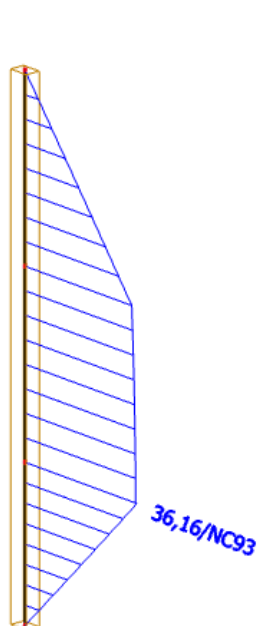
1. Napätie v ohybe, napätie v šmyku

❖ Maximálne vnútorné sily:

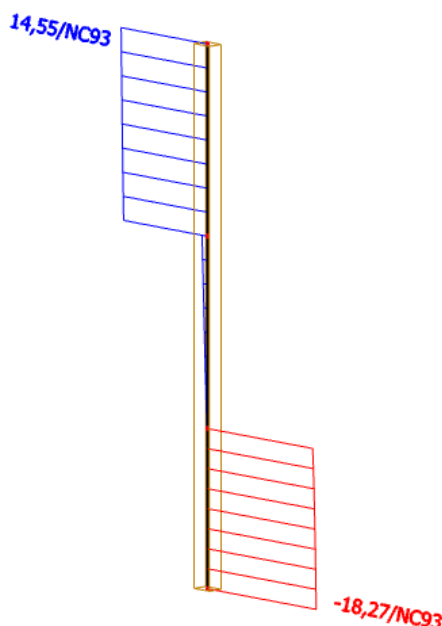
Rozhodujúca kombinácia: NC 93 ($1,35 \cdot LC1 + 1,35 \cdot LC2 + 0,75 \cdot LC5 + 1,5 \cdot LC9$)

Ohybový moment: $M_{Ed,z} = 36,16 \text{ kNm}$

Šmyková sila: $V_{Ed,y} = 18,27 \text{ kN}$



Obrázok 63: Štítový stĺp: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,z}$



Obrázok 64: Štítový stĺp: Maximálna šmyková sila $V_{Ed,y}$

❖ Napätie: Ohyb:

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z \cdot 10^{-6}} = \frac{36,16}{2,87} = 12,58 \text{ MPa}$$

Šmyk:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,z}}{A_{ef} \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{18,27}{41,27} = 0,66 \text{ MPa}$$

▪ Posúdenie na MSÚ: Ohyb:

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$$

$$12,58 \text{ MPa} < 17,28 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Šmyk:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,66 \text{ MPa} < 2,52 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

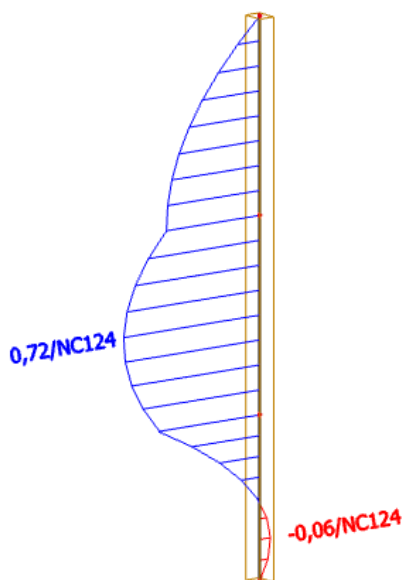
2. Dvojosí ohyb

❖ Vnútorne sily:

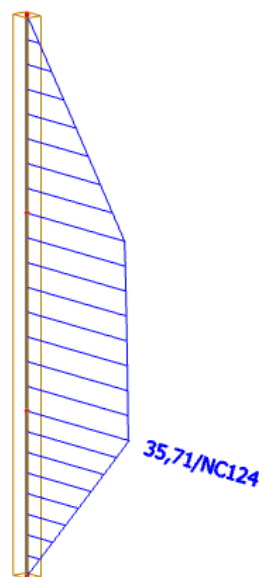
Rozhodujúca kombinácia: NC 124 (1,0 · LC1 + 1,0 · LC2 + 0,75 · LC6 + 1,5 · LC7)

Maximálny ohybový moment: $M_{Ed,y} = 0,72 \text{ kNm}$

Príslušný ohybový moment: $M_{Ed,z} = 35,71 \text{ kNm}$



Obrázok 65: Štítový stĺp: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,y}$



Obrázok 66: Štítový stĺp: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,z}$ k $M_{Ed,y}$

❖ Napätie: Ohyb k ose y: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{0,72}{2,26} = 0,32 \text{ MPa}$

Ohyb k ose z: $\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z \cdot 10^{-6}} = \frac{35,71}{2,87} = 12,42 \text{ MPa}$

▪ Posúdenie na MSÚ: Dvojosí ohyb:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,32}{17,28} + 0,7 \frac{12,42}{17,28} \leq 1,0$$

$$0,52 < 1$$

Vyhovuje

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow 0,7 \frac{0,32}{17,28} + \frac{12,42}{17,28} \leq 1,0$$

$$0,73 < 1$$

Vyhovuje

3. Kombinácia ohybu a vzperného tlaku

$L_{cr,y} = 2400$ mm (vybočenie v smere osi y)

$L_{cr,z} = 6800$ mm (vybočenie v smere osi z)

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{2400}{63,51} = 37,79$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6800}{80,83} = 84,13$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{37,79}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,60$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{84,13}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,34$$

$\beta_c = 0,1$ (pre LLD drevo)

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1(0,60 - 0,3) + 0,60^2] = 0,70$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1(1,34 - 0,3) + 1,34^2] = 1,45$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,70 + \sqrt{0,70^2 - 0,60^2}} = 0,96$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,75 + \sqrt{0,75^2 - 0,67^2}} = 0,50$$

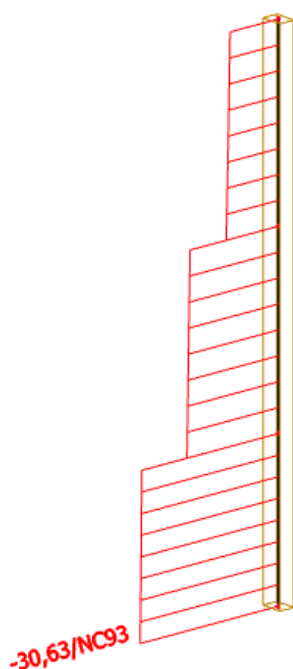
❖ Vnútorne sily:

Rozhodujúca kombinácia: NC 93 ($1,35 \cdot LC1 + 1,35 \cdot LC2 + 0,75 \cdot LC5 + 1,5 \cdot LC9$)

Maximálny ohybový moment: $M_{Ed,z} = 36,16$ kNm (obr. 63)

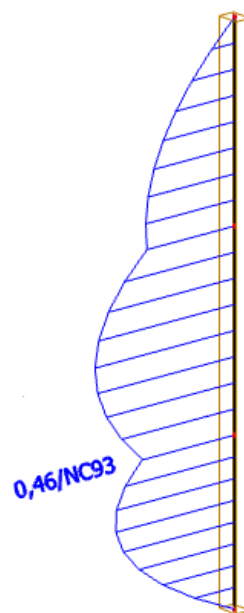
Príslušná tlaková sila: $N_{Ed} = 30,63$ kN

Príslušný ohybový moment: $M_{Ed,y} = 0,46$ kNm



Obrázok 6732: Štítový stĺp: Príslušná tlaková sila

N_{Ed} k $M_{Ed,z}$



Obrázok 6833: Štítový stĺp: Príslušný ohybový

moment $M_{Ed,y}$ k $M_{Ed,z}$

❖ Napätie: Ohyb k ose y: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{0,46}{2,26} = 0,20 \text{ MPa}$

Ohyb k ose z: $\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z \cdot 10^{-6}} = \frac{36,16}{2,87} = 12,58 \text{ MPa}$

Tlak \parallel s vláknami: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{30,63}{61,6} = 0,50 \text{ MPa}$

- Posúdenie na MSÚ: Kombinácia ohybu a vzperného tlaku:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,50}{0,50 \cdot 17,28} + \frac{12,58}{17,28} + 0,7 \frac{0,20}{17,28} \leq 1,0$$

0,79 < 1 **Vyhovuje**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,50}{0,95 \cdot 17,28} + 0,7 \frac{12,58}{17,28} + \frac{0,20}{17,28} \leq 1,0$$

0,55 < 1 **Vyhovuje**

4. Klopenie (pričná a torzná stabilita)

- ❖ Vnútoraná sila: Maximálny ohybový moment: $M_{Ed,z} = 36,16 \text{ kNm}$ (obr. 63)

❖ Kritické napätie: $\sigma_{m,crit} = \frac{0,75 \cdot b^2 E_{0,05}}{h \cdot l_{ef}} = \frac{0,75 \cdot 280^2 \cdot 9600}{220 \cdot 0,9 \cdot 6800} = 419,25 \text{ MPa}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{419,25}} = 0,24$$

$$k_{crit} = 1 \text{ (pre } \lambda_{rel,m} \leq 0,75)$$

- **Posúdenie na MSÚ:** Klopenie (priechna a torzná stabilita):

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{12,58}{1 \cdot 17,28} \leq 1,0$$

$$0,73 < 1$$

Vyhovuje

5. MSP

Priehyb na štítovom stĺpe je posúdený v smere y, ktorý bol rozhodujúci. Dĺžka stĺpu je 6800 mm a deformácie sú v prílohe 2.

Okamžitý priehyb:

$$w_{inst, G, LC1} = 0,8 \text{ mm}$$

$$w_{inst, G, LC2} = -3,3 \text{ mm}$$

$$w_{inst, S, LC6} = 3,4 \text{ mm}$$

$$w_{inst, W, LC7} = 71,5 \text{ mm}$$

$$w_{inst} = w_{inst, G} + w_{inst, S} + \psi_{0, W} \cdot w_{inst, W}$$

$$w_{inst} = 0,8 - 3,3 + 3,4 + 0,6 \cdot 71,5 = 43,8 \text{ mm}$$

Konečný priehyb:

$$w_{fin, G, LC1} = w_{inst, G, LC1} \cdot (1 + k_{def}) = 0,8 \cdot (1 + 0,6) = 1,28 \text{ mm}$$

$$w_{fin, G, LC2} = w_{inst, G, LC2} \cdot (1 + k_{def}) = -3,3 \cdot (1 + 0,6) = -5,28 \text{ mm}$$

$$w_{fin, S, LC6} = w_{inst, S, LC6} \cdot (1 + \psi_{2, S} \cdot k_{def}) = 3,4 \cdot (1 + 0 \cdot 0,6) = 3,4 \text{ mm}$$

$$w_{fin, W, LC7} = w_{inst, W, LC7} \cdot (\psi_{0, W} + \psi_{2, W} \cdot k_{def}) = 71,5 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,6) = 42,9 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin, G} + w_{fin, S} + w_{fin, W} = 1,28 - 5,28 + 3,4 + 42,9 = 42,3 \text{ mm}$$

- **Posúdenie MSP:**

Okamžitý priehyb:

$$w_{inst} \leq \frac{L}{150} \Rightarrow 43,8 \text{ mm} < 45,33 \text{ mm}$$

Vyhovuje

Konečný priehyb:

$$w_{fin} \leq \frac{L}{150} \Rightarrow 42,3 \text{ mm} < 45,33 \text{ mm}$$

Vyhovuje

7.6 Drevené stužidlo

Drevené stužidlo, ktoré je na konštrukcii navrhnuté do tvaru obráteného V, je tvorené rasteným ihličnatým drevom triedy C24. Nachádza sa na pozdĺžnej strane športovej haly s dĺžkou 3 m. Stužidlo je posúdené na napätie v ťahu rovnobežne s vláknami a kombináciu ohybu a vzperného tlaku.

❖ Prierezové charakteristiky:

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 120 \cdot 120 = 14400 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 120 \cdot 120^2 = 2,88 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

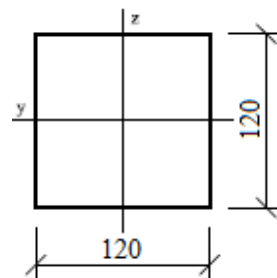
$$W_z = W_y$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 120^3 = 1,7 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_z = I_y$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,7 \cdot 10^7}{14400}} = 34,64 \text{ mm}$$

$$i_z = i_y$$



Obrázok 69: Návrh prierezu stužidla

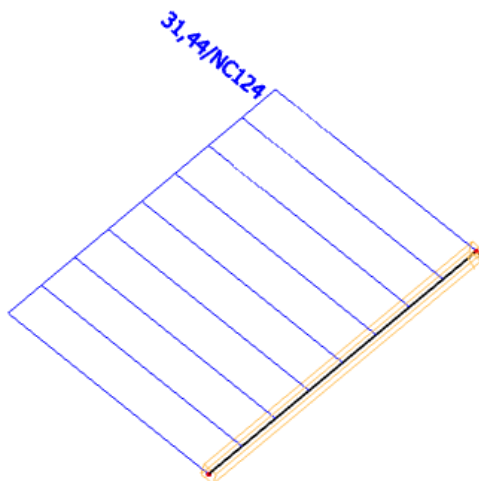
1. Ťah rovnobežne s vláknami

❖ Maximálna vnútorná sila:

Rozhodujúca kombinácia: NC 124 (1,0 · LC1 + 1,0 · LC2 + 0,75 · LC6 + 1,5 · LC7)

Maximálna ťahová sila:

$$N_{Ed} = 31,44 \text{ kN}$$



Obrázok 70: Stužidlo: Maximálna osová sila N_{Ed} - ťah

❖ Napätie: Ťah || s vláknami: $\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{31,44}{14,4} = 2,18 \text{ MPa}$

▪ Posúdenie na MSÚ: Ťah || s vláknami: $\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$

2,18 MPa < 9,69 MPa

Vyhovuje

2. Kombinácia ohybu a vzperného tlaku

$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3145 \text{ mm}$ (vybočenie v smere osi y)

$\lambda_y = \lambda_z = \frac{L_{cr,y,z}}{i_{y,z}} = \frac{3145}{34,64} = 90,79$

$\lambda_{rel,y} = \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_{y,z}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{90,79}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21}{7400}} = 1,54$

$\beta_c = 0,2$ (pre rastené drevo)

$k_y = k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,y,z} - 0,3) + \lambda_{rel,y,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2(1,54 - 0,3) + 1,54^2] = 1,81$

$k_{c,y} = k_{c,z} = \frac{1}{k_{y,z} + \sqrt{k_{y,z}^2 - \lambda_{rel,y,z}^2}} = \frac{1}{1,81 + \sqrt{1,81^2 - 1,54^2}} = 0,36$

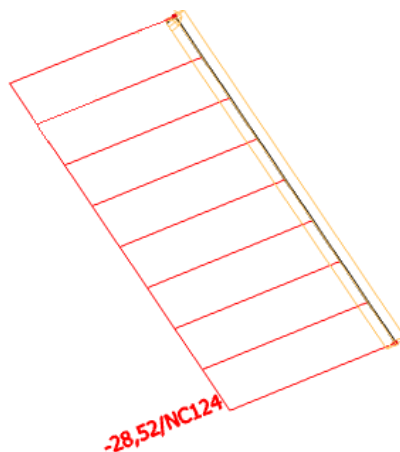
❖ Vnútorne sily:

Rozhodujúca kombinácia: NC 124 (1,0 · LC1 + 1,0 · LC2 + 0,75 · LC6 + 1,5 · LC7)

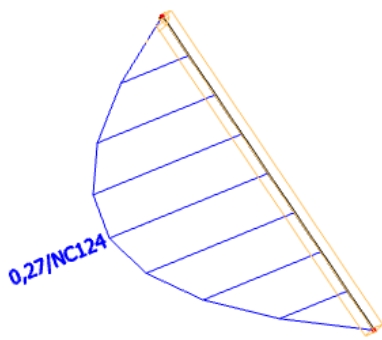
Maximálna ťahová sila: $N_{Ed} = 28,52 \text{ kN}$

Príslušný ohybový moment: $M_{Ed,y} = 0,27 \text{ kNm}$

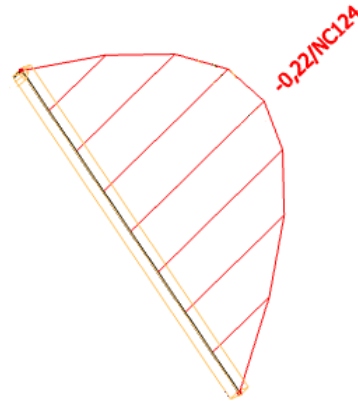
Príslušný ohybový moment: $M_{Ed,z} = 0,22 \text{ kNm}$



Obrázok 7134: Stúžidlo: Maximálna tlaková sila N_{Ed}



Obrázok 7235: Stúžidlo: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,y}$ k N_{Ed}



Obrázok 73: Stúžidlo: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,z}$ k N_{Ed}

❖ Napätie: Ohyb k ose y: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{0,27}{0,29} = 0,94 \text{ MPa}$

Ohyb k ose z: $\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z \cdot 10^{-6}} = \frac{0,22}{0,29} = 0,76 \text{ MPa}$

Tlak || s vláknami: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{28,52}{14,4} = 1,98 \text{ MPa}$

- Posúdenie na MSÚ: Kombinácia ohybu a vzperného tlaku:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{1,98}{0,36 \cdot 14,54} + \frac{0,76}{16,62} + 0,7 \frac{0,94}{16,62} \leq 1,0$$

0,46 < 1 **Vyhovuje**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{1,98}{0,36 \cdot 14,54} + 0,7 \frac{0,76}{16,62} + \frac{0,94}{16,62} \leq 1,0$$

0,46 < 1 **Vyhovuje**

3. MSP

Deformácia na stužidlo v stene haly je posúdená v smere y. Dĺžka stužidla s najväčším priehybom je 3145 mm. Deformácie od zaťažovacích stavov sú vykreslené v prílohe 2.

Okamžitý priehyb: $w_{inst, G, LC1} = 0,2 \text{ mm}$

$$w_{inst, G, LC2} = -0,1 \text{ mm}$$

$$w_{inst, S, LC6} = 0,4 \text{ mm}$$

$$w_{inst, W, LC7} = 12 \text{ mm}$$

$$w_{inst} = w_{inst, G} + w_{inst, S} + \psi_{0, W} \cdot w_{inst, W}$$

$$w_{inst} = 0,2 \cdot 0,1 + 0,4 + 0,6 \cdot 12 = 7,7 \text{ mm}$$

Konečný prieťah:

$$w_{fin, G, LC1} = w_{inst, G, LC1} \cdot (1 + k_{def}) = 0,2 \cdot (1 + 0,6) = 0,32 \text{ mm}$$

$$w_{fin, G, LC2} = w_{inst, G, LC2} \cdot (1 + k_{def}) = -0,1 \cdot (1 + 0,6) = -0,16 \text{ mm}$$

$$w_{fin, S, LC6} = w_{inst, S, LC6} \cdot (1 + \psi_{2,S} \cdot k_{def}) = 0,4 \cdot (1 + 0 \cdot 0,6) = 0,4 \text{ mm}$$

$$w_{fin, W, LC7} = w_{inst, W, LC7} \cdot (\psi_{0,W} + \psi_{2,W} \cdot k_{def}) = 12 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,6) = 7,2 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,S} + w_{fin,W} = 0,32 - 0,16 + 0,4 + 7,2 = 7,76 \text{ mm}$$

▪ Posúdenie MSP:

Okamžitý prieťah:

$$w_{inst} \leq \frac{L}{300} \Rightarrow 7,7 \text{ mm} < 10,48 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

Konečný prieťah:

$$w_{fin} \leq \frac{L}{250} \Rightarrow 7,76 \text{ mm} < 12,58 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

7.7 Fasádna rozpera (Paždík)

Paždík, prvok vo zvislých stenách, je navrhnutý z materiálu LLD triedy GL24h s dĺžkou 4,0 m. Z hľadiska MSÚ je posúdený na ohyb, šmyk, dvojosiu napätosť v šmyku, kombináciu ohybu so vzperným tlakom a s osovým ťahom, klopie a tlak kolmo k vláknám od tlakovej sily, ktorú spôsobuje drevené stužidlo.

❖ Prierezové charakteristiky:

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

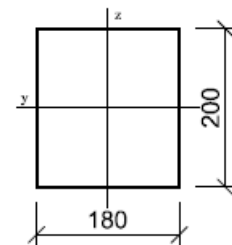
$$k_{cr} = 0,67 \text{ (pre LLD)}$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 180 = 120,6 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h = 120,6 \cdot 200 = 24120 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 180 \cdot 200^2 = 1,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 200 \cdot 180^2 = 1,1 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$



Obrázok 74: Návrh prierezu paždika

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 180 \cdot 200^3 = 1,2 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 180^3 = 9,7 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{1,2 \cdot 10^8}{36000}} = 57,74 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{9,7 \cdot 10^7}{36000}} = 51,96 \text{ mm}$$

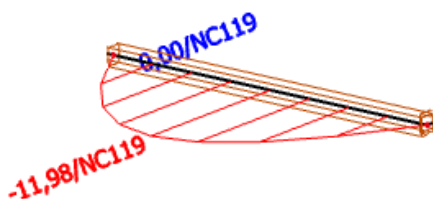
1. Napätie v ohybe, napätie v šmyku

❖ Maximálne vnútorné sily:

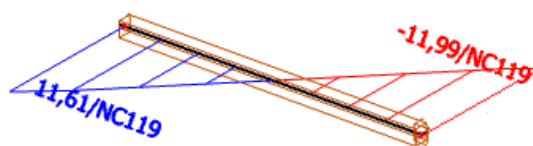
Rozhodujúca kombinácia: NC 119 (1,00 · LC1 + 1,00 · LC2 + 1,5 · LC13)

Ohybový moment: $M_{Ed,z} = 11,98 \text{ kNm}$

Šmyková sila: $V_{Ed,y} = 11,99 \text{ kN}$



Obrázok 75: Paždík: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,z}$



Obrázok 76: Paždík: Maximálna šmyková sila $V_{Ed,y}$

❖ Napätie: Ohyb:

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z \cdot 10^{-6}} = \frac{11,98}{1,1} = 11,09 \text{ MPa}$$

Šmyk:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,y}}{A_{ef} \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{11,99}{24,12} = 0,75 \text{ MPa}$$

▪ Posúdenie na MSÚ: Ohyb:

$$\sigma_{m,z,d} \leq f_{m,d}$$

$$11,09 \text{ MPa} < 17,28 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Šmyk:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0,75 \text{ MPa} < 2,52 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

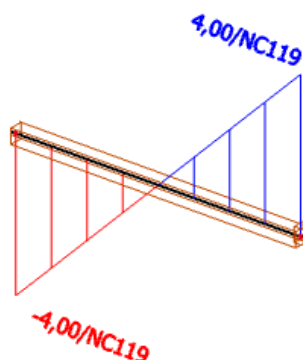
2. Dvojosá napätosť v šmyku

❖ Vnútorne sily:

Rozhodujúca kombinácia: NC 119 ($1,00 \cdot LC1 + 1,00 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC13$)

Maximálna šmyková sila: $V_{Ed,y} = 11,99 \text{ kN}$ (obr. 76)

Príslušná šmyková sila: $V_{Ed,z} = 4,00 \text{ kN}$



Obrázok 7736: Paždík: Príslušná šmyková sila $V_{Ed,z}$ k $V_{Ed,y}$

❖ Napätie: Šmyk v smere osi y: $\tau_{d,y} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,y}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{11,99}{36} = 0,50 \text{ MPa}$

Šmyk v smere osi z: $\tau_{d,z} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed,z}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4,0}{36} = 0,17 \text{ MPa}$

▪ Posúdenie na MSÚ: Dvojosí šmyk: $\frac{\sqrt{\tau_{d,y}^2 + \tau_{d,z}^2}}{f_{v,d}} \leq 1 \Rightarrow \frac{\sqrt{0,50^2 + 0,17^2}}{2,52} \leq 1$
0,21 < 1 **Vyhovuje**

3. Kombinácia ohybu a osového ťahu

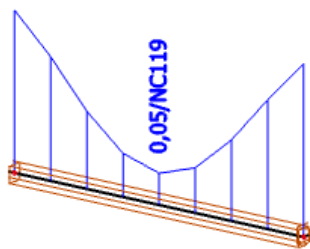
❖ Vnútorne sily:

Rozhodujúca kombinácia: NC 119 ($1,00 \cdot LC1 + 1,00 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC13$)

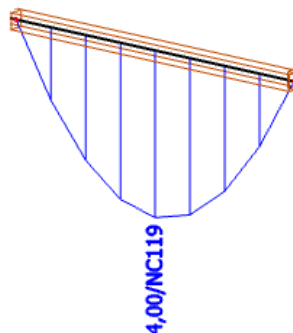
Maximálny ohybový moment: $M_{Ed,z} = 11,98 \text{ kNm}$ (obr.75)

Príslušná ťahová sila: $N_{Ed} = 0,05 \text{ kN}$

Príslušný ohybový moment: $M_{Ed,y} = 4,00 \text{ kNm}$



Obrázok 7837: Paždík: Príslušná ťahová sila N_{Ed}
k $M_{Ed,z}$



Obrázok 7938: Paždík: Príslušný ohybový moment
 $M_{Ed,y}$ k $M_{Ed,z}$

❖ Napätie: Ohyb k ose y : $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{4,0}{1,2} = 3,33 \text{ MPa}$

Ohyb k ose z : $\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z \cdot 10^{-6}} = \frac{11,98}{1,1} = 11,09 \text{ MPa}$

Ťah \parallel s vláknami: $\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{0,05}{36} = 0,001 \text{ MPa}$

- **Posúdenie na MSÚ:** Kombinácia ohybu a osového ťahu:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,001}{11,88} + \frac{3,33}{17,28} + 0,7 \frac{11,09}{17,28} \leq 1,0$$

0,64 < 1 **Vyhovuje**

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,001}{11,88} + 0,7 \frac{3,33}{17,28} + \frac{11,09}{17,28} \leq 1,0$$

0,78 < 1 **Vyhovuje**

4. Kombinácia ohybu a vzperného tlaku

$L_{cr,y} = 4000 \text{ mm}$ (vybočenie v smere osi y)

$L_{cr,z} = 4000 \text{ mm}$ (vybočenie z smere osi z)

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{4000}{57,74} = 69,28$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{4000}{51,96} = 76,98$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{69,28}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,10$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{76,98}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,23$$

$\beta_c = 0,1$ (pre LLD drevo)

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1(1,10 - 0,3) + 1,10^2] = 1,15$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1(1,23 - 0,3) + 1,23^2] = 1,30$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,15 + \sqrt{1,15^2 - 1,10^2}} = 0,68$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,30 + \sqrt{1,30^2 - 1,23^2}} = 0,58$$

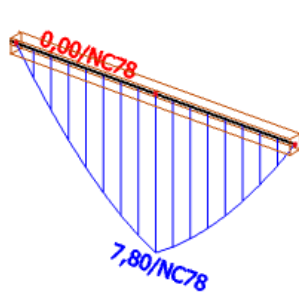
❖ Vnútorne sily:

Rozhodujúca kombinácia: NC 78 ($1,35 \cdot LC1 + 1,35 \cdot LC2 + 1,5 \cdot LC7$)

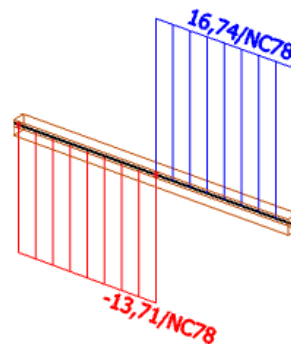
Maximálny ohybový moment: $M_{Ed,y} = 7,8 \text{ kNm}$

Príslušná tlaková sila: $N_{Ed} = 13,71 \text{ kN}$

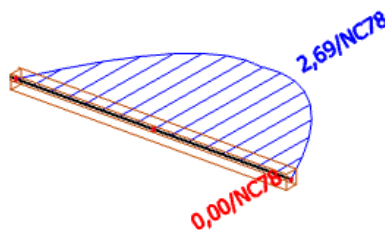
Príslušný ohybový moment: $M_{Ed,z} = 2,69 \text{ kNm}$



Obrázok 8039: Paždík: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,y}$



Obrázok 8140: Paždík: Príslušná tlaková sila N_{Ed} k $M_{Ed,y}$



Obrázok 82: Paždík: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,z}$ k $M_{Ed,y}$

❖ Napätie: Ohyb k ose y: $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y \cdot 10^{-6}} = \frac{7,8}{1,2} = 6,50 \text{ MPa}$

Ohyb k ose z: $\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z \cdot 10^{-6}} = \frac{2,69}{1,1} = 2,49 \text{ MPa}$

Tlak || s vláknami: $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A \cdot 10^{-3}} = \frac{13,71}{36} = 0,38 \text{ MPa}$

- **Posúdenie na MSÚ:** Kombinácia ohybu a vzperného tlaku:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,38}{0,58 \cdot 17,28} + \frac{2,69}{17,28} + 0,7 \frac{6,5}{17,28} \leq 1,0$$

0,45 < 1 **Vyhovuje**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,38}{0,68 \cdot 17,28} + 0,7 \frac{2,69}{17,28} + \frac{6,5}{17,28} \leq 1,0$$

0,51 < 1 **Vyhovuje**

5. Klopenie (pričná a torzná stabilita)

- ❖ Vnútoraná sila:

Maximálny ohybový moment: $M_{Ed,z} = 11,98 \text{ kNm}$ (obr.75)

❖ Kritické napätie: $\sigma_{m,crit} = \frac{0,75 \cdot b^2 E_{0,05}}{h \cdot l_{ef}} = \frac{0,75 \cdot 180^2 \cdot 9600}{200 \cdot 0,9 \cdot 3600} = 324 \text{ MPa}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{324}} = 0,53$$

$$k_{crit} = 1 \text{ (pre } \lambda_{rel,m} \leq 0,75)$$

- **Posúdenie na MSÚ:** Klopenie (pričná a torzná stabilita):

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{11,09}{1 \cdot 17,28} \leq 1,0$$

0,64 < 1 **Vyhovuje**

6. Tlak kolmo k vláknam (od dreveného stužidla)

Rozmery dreveného stužidla : (b x ℓ) = 120 x 120 mm ℓ - kontaktná dĺžka

❖ Účinná plocha: $A_{ef} = (30 + \ell + 30) \cdot h = (30 + 120 + 30) \cdot 120 = 21,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$

❖ Vnútna sila:

Maximálna tlaková sila (od stužidla): $N_{Ed} = 28,52 \text{ kN/m}$ (obr. 71)

Tlaková sila $F_{c,90,d}$ pôsobí pod uhlom 40° od vertikálnej roviny, takže bude zmenšená o hodnotu sily vznikajúcej pod týmto uhlom.

Tlaková sila pod uhlom 40° (od stužidla): $F_{c,90,d} = N_{Ed} \cdot \cos 40^\circ = 21,85 \text{ kN/m}$

❖ Napätie: $\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{21,85}{21600} = 1,01 \text{ MPa}$

$$k_{c,90} = 1,75$$

- Posúdenie na MSÚ: Tlak kolmo k vláknám:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \Rightarrow 1,01 \leq 1,75 \cdot 1,94$$

$$1,01 < 3,40$$

Vyhovuje

7. MSP

Posúdený je prieťah v smere y aj v smere z. Jednotlivé zložky celkového prieťahu sú znázornené v prílohe 2.

Okamžitý prieťah:

smere y

smere z

$$w_{inst, G, LC1} = 0,0 \text{ mm}$$

$$w_{inst, G, LC1} = 0,4 \text{ mm}$$

$$w_{inst, G, LC2} = 0,1 \text{ mm}$$

$$w_{inst, G, LC2} = 4,7 \text{ mm}$$

$$w_{inst, S, LC4} = 0,0 \text{ mm}$$

$$w_{inst, S, LC4} = 0,1 \text{ mm}$$

$$w_{inst, W, LC13} = 12,7 \text{ mm}$$

$$w_{inst, W, LC8} = 0,5 \text{ mm}$$

$$w_{inst} = w_{inst, G} + w_{inst, S} + \psi_{0, W} \cdot w_{inst, W}$$

smere y : $w_{inst} = 0,0 + 0,1 + 0,0 + 0,6 \cdot 12,7 = 7,72 \text{ mm}$

smere z : $w_{inst} = 0,4 + 4,7 + 0,1 + 0,6 \cdot 0,5 = 5,5 \text{ mm}$

Konečný prieťah: smer y

$$w_{fin, G, LC1} = w_{inst, G, LC1} \cdot (1 + k_{def}) = 0,0 \cdot (1 + 0,6) = 0,0 \text{ mm}$$

$$w_{fin, G, LC2} = w_{inst, G, LC2} \cdot (1 + k_{def}) = 0,1 \cdot (1 + 0,6) = 0,16 \text{ mm}$$

$$w_{fin, S, LC4} = w_{inst, S, LC4} \cdot (1 + \psi_{2, S} \cdot k_{def}) = 0,0 \cdot (1 + 0 \cdot 0,6) = 0,0 \text{ mm}$$

$$w_{fin, W, LC13} = w_{inst, W, LC13} \cdot (\psi_{0, W} + \psi_{2, W} \cdot k_{def}) = 12,7 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,6) = 7,62 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin, G} + w_{fin, S} + w_{fin, W} = 0,0 + 0,16 + 0,0 + 7,62 = 7,78 \text{ mm}$$

smere z

$$w_{fin, G, LC1} = w_{inst, G, LC1} \cdot (1 + k_{def}) = 0,4 \cdot (1+0,6) = 0,64 \text{ mm}$$

$$w_{fin, G, LC2} = w_{inst, G, LC2} \cdot (1 + k_{def}) = 4,7 \cdot (1+0,6) = 7,52 \text{ mm}$$

$$w_{fin, S, LC4} = w_{inst, S, LC4} \cdot (1 + \psi_{2,S} \cdot k_{def}) = 0,1 \cdot (1+0 \cdot 0,6) = 0,1 \text{ mm}$$

$$w_{fin, W, LC8} = w_{inst, W, LC8} \cdot (\psi_{0,W} + \psi_{2,W} \cdot k_{def}) = 0,5 \cdot (0,6 + 0 \cdot 0,6) = 0,3 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,S} + w_{fin,W} = 0,64 + 7,52 + 0,1 + 0,3 = 8,56 \text{ mm}$$

❖ Posúdenie na MSP:

Okamžitý prieťah:

smer z	$w_{inst} \leq \frac{L}{300} \Rightarrow$	5,5 mm < 13,3 mm	Vyhovuje
----------	---	----------------------------	-----------------

smer y	$w_{inst} \leq \frac{L}{300} \Rightarrow$	7,72 mm < 13,3 mm	Vyhovuje
----------	---	-----------------------------	-----------------

Konečný prieťah:

smer z	$w_{fin} \leq \frac{L}{250} \Rightarrow$	8,56 mm < 16,0 mm	Vyhovuje
----------	--	-----------------------------	-----------------

smer y	$w_{fin} \leq \frac{L}{250} \Rightarrow$	7,78 mm < 16,0 mm	Vyhovuje
----------	--	-----------------------------	-----------------

7.8 Oceľové tiahlo

Navrhnuté sú oceľové tiahla Macalloy 460 [22], s priemerom 15 mm a so závitom M16. Dĺžka jedného tiahla je ± 5660 mm. Posúdené je tiahlo s najväčšou vznikajúcou osovou silou. Únosnosť, ku konkrétnemu typu tiahla, je prevzatá z tabuliek [22].

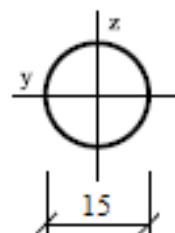
❖ Materiálové vlastnosti

Medz klzu: $f_y = 460 \text{ MPa}$

Medz pevnosti: $f_u = 610 \text{ MPa}$

Minimálna ťažnosť: 19 %

Modul pružnosti: $E = 205 \text{ GPa}$



Obrázok 8341: Návrh prierezu oceľového tiahla

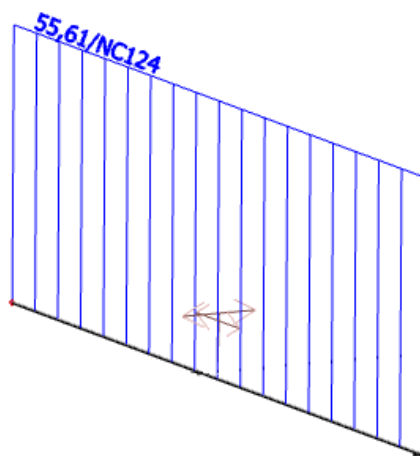
Material Properties						
Product Name	Material	Min. Yield Stress N/mm ²	Min. Breaking Stress N/mm ²	Min. Elongation %	Min. Charpy Impact Value J@ -20°C	Young Modules kN/mm ²
Macalloy 460	Carbon Steel	460	610	19	27	205
Macalloy S460	Stainless Steel	460	610	15	27	205
Macalloy 520	Carbon Steel	520	690	19	27	205
Macalloy S520	Stainless Steel	520	690	15	27	205

Obrázok 84: Materiálové vlastnosti tiahel Macalloy [22]

❖ Vnútorňa sila:

Rozhodujúca kombinácia: NC 124 ($1,0 \cdot LC1 + 1,0 \cdot LC2 + 0,75 \cdot LC6 + 1,5 \cdot LC7$)

Maximálna ťahová sila: $N_{Ed} = 55,61 \text{ kN}$



Obrázok 42: Oceľové tiahlo: Maximálna ťahová sila N_{Ed}

Tendon Capacities for Carbon and Stainless Macalloy 460																	
Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100	M105
Nominal Bar Dia.	mm	10	11	15	19	22	28	34	39	45	52	60	72	82	87	97	102
Min. Yield Load	kN	25	36	69	108	156	249	364	501	660	912	1204	1756	2239	2533	3172	3520
Min. Break Load	kN	33	48	91	143	207	330	483	665	875	1209	1596	2329	2969	3358	4206	4667
Design Resistance to EC3 $N_{R,d}$	kN	24	35	66	103	149	238	348	479	630	870	1149	1677	2138	2418	3029	3360
Nominal Bar Weight	kg/m	0.5	0.75	1.4	2.2	3.0	4.8	7.1	9.4	12.5	16.7	22.2	32	41.5	46.7	58	64.1

Obrázok 86: Únosnosť tiahel Macalloy 460 [22]

❖ Únosnosť: $N_{t,Rd} = 69,00 \text{ kN}$

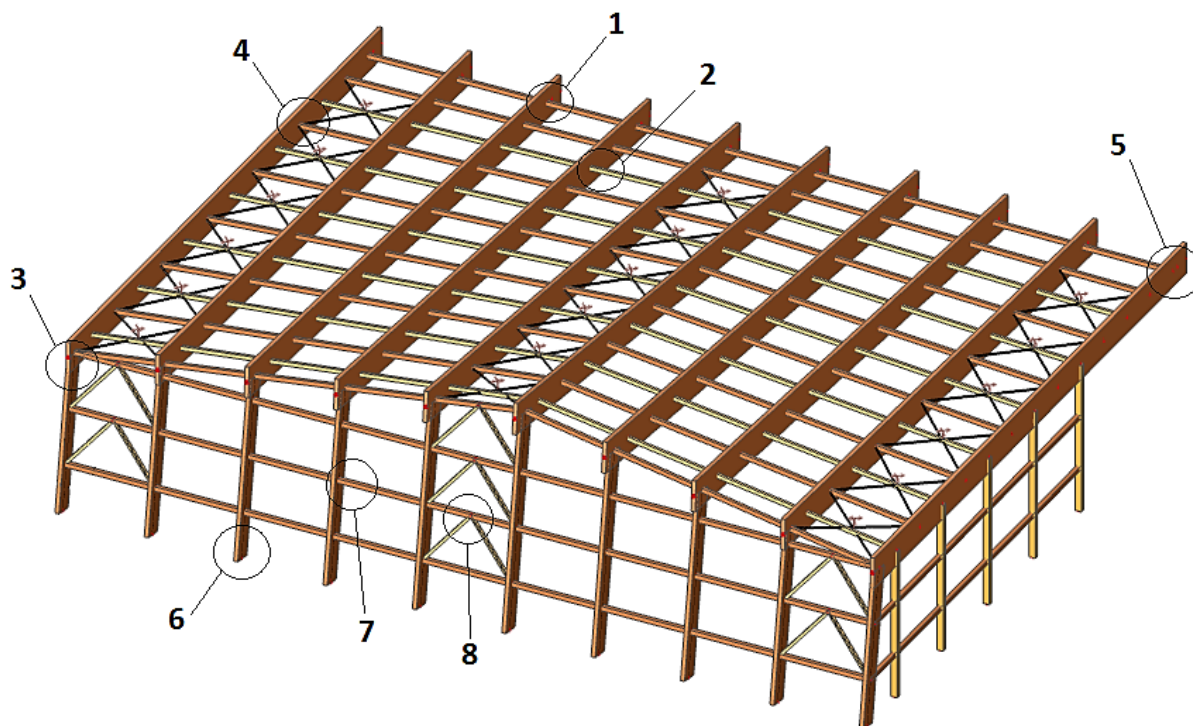
▪ Posúdenie na MSÚ: Ťah: $N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$

$$55,61 \text{ kN} < 69,00 \text{ kN}$$

Vyhovuje

8 NÁVRH A POSÚDENIE SPOJOV

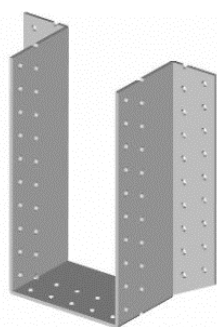
Na konštrukcii bolo posúdených 8 vybraných spojov (ich umiestnenie je zobrazené na obr. 87) podľa noriem ČSN EN [4], [7], [8]. Z vybraných je posudzovaný vždy najviac namáhaný spoj konštrukcie. Detaily jednotlivých spojov sú vykreslené v prílohe 3.



Obrázok 87: Číselné zobrazenie riešených spojov

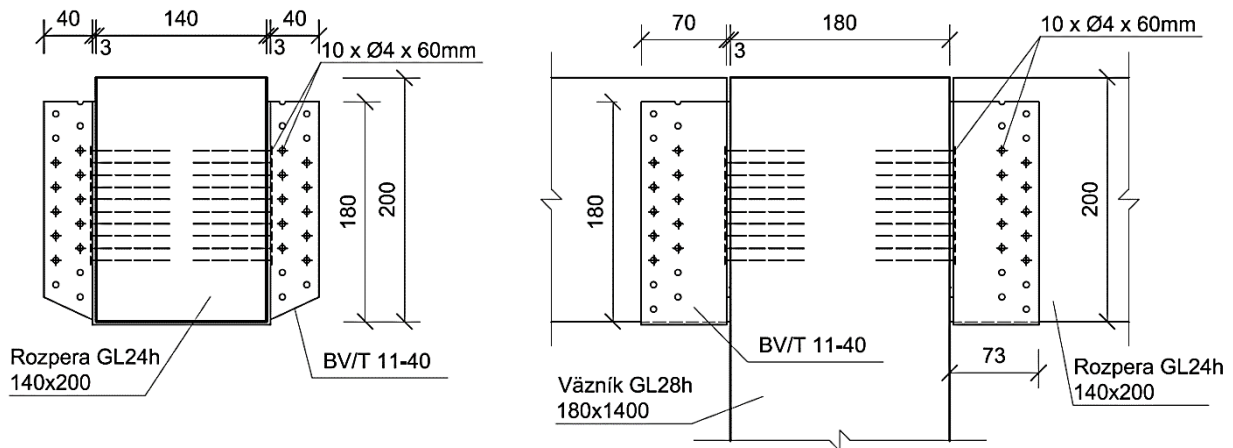
8.1 Spoj rozpera – väzník (1)

Strešná rozpera je k väzníku pripojená strmeňom BV/T 11-40 od firmy BOVA. Strmeň je vyrobený z oceľového plechu hrúbky 3 mm a ako spojovací materiál sú použité konvexné klince s priemerom 4 mm [13]. Únosnosti strmeňa a klincov sú určené výrobcom.



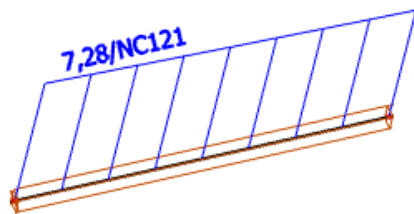
Obrázok 88: Strmeň BV/T 11-40 [13]

- Návrh : Strmeň šírky 140 mm, výšky 180 mm, $t = 3$ mm
Konvexné klince: $d = 4$ mm, dĺžka $l = 60$ mm, $f_u = 600$ MPa, $n = 20$ ks,
hlbka vniku klinca $t_{pen} = 57$ mm

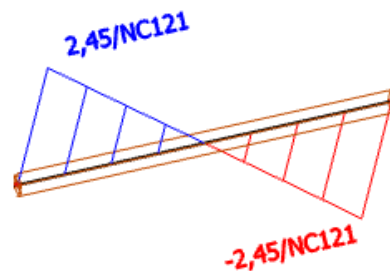


Obrázok 8943: Schéma - Spoj (1) rozpera - väzník

- Vnútorne sily : Maximálna ťahová sila : $N_{Ed} = 7,28$ kN
Maximálna šmyková sila : $V_{Ed,z} = 9,78$ kN (obr. 39)
Príslušná šmyková sila k N_{Ed} : $V_{Ed,z} = 2,45$ kN



Obrázok 9044: Rozpera: Maximálna ťahová sila N_{Ed}



Obrázok 9145: Rozpera: príslušná šmyková sila $V_{Ed,z}$ k N_{Ed}

1. Únosnosť strmeňa v ťahu

Podľa výrobcu : $F_{UT} = 97,2$ kN

Posúdenie :

$$N_{Ed} \leq F_{UT}$$

$$7,28 \text{ kN} < 97,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

2. Únosnosť klincov (strmeň – väzník)

Únosnosť v strihu podľa výrobcu : $F_{US} = 0,71 \text{ kN}$ (1 klinec)

Celková únosnosť klincov : $F_{US} = 0,71 \cdot n = 0,71 \cdot 20 = 14,2 \text{ kN}$

- Vnútna sila : Maximálna šmyková sila $V_{Ed,z} = 9,78 \text{ kN}$

Posúdenie :

$$V_{Ed,z} \leq F_{US}$$

$$9,78 \text{ kN} < 14,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Výpočet pre kontrolu :

pevnosť v otláčení : $f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{0,3} = 0,082 \cdot 380 \cdot 4^{-0,3} = 20,56 \text{ MPa}$

plastický moment únosnosti : $M_{y,Rk} = 0,45 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,45 \cdot 600 \cdot 4^{2,6} = 9924,75 \text{ N/mm}$

Únosnosť jedného spojovacieho prostriedku :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0,4 \cdot f_{h,k} \cdot t_{pen} \cdot d}{1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d}} \right\} = \left\{ \frac{1,87}{1,47} \right\} = 1,47 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 1,47}{1,25} = 1,06 \text{ kN}$$

Posúdenie :

($n = 20$ ks klincov)

$$F_{v,Rd} = 20 \cdot F_{v,Rd} = 20 \cdot 1,06 = 21,16 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$9,78 \text{ kN} < 21,16 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnosť v ťahu podľa výrobcu : $F_{UT} = 0,64 \text{ kN}$ (1 klinec)

Celková únosnosť klincov : $F_{UT} = 0,64 \cdot n = 0,64 \cdot 20 = 12,8 \text{ kN}$

Posúdenie :

$$N_{Ed} \leq F_{UT}$$

$$7,28 \text{ kN} < 12,8 \text{ kN}$$

Vyhovuje

3. Únosnosť klincov (strmeň – rozpera)

Únosnosť v strihu podľa výrobcu : $F_{US} = 0,71 \text{ kN}$ (1 klinec)

Celková únosnosť klincov : $F_{US} = 0,71 \cdot n = 0,71 \cdot 20 = 14,2 \text{ kN}$

- Vnútorá sila : výslednica síl

$$F_d = \sqrt{V_{Ed,z}^2 + N_{Ed}^2} = \sqrt{2,45^2 + 7,28^2} = 7,68 \text{ kN}$$

Posúdenie :

$$F_d \leq F_{US}$$

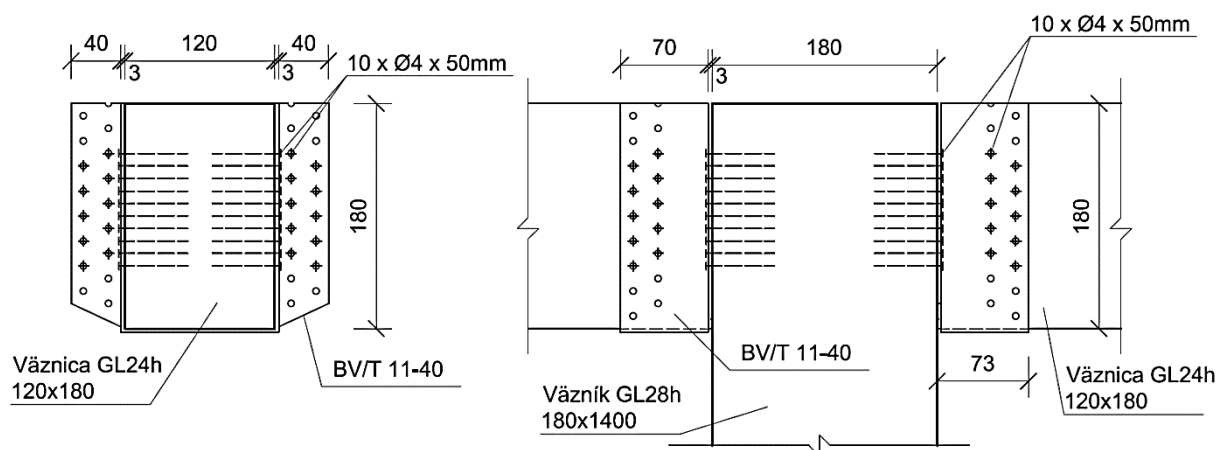
$$7,68 \text{ kN} < 14,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

8.2 Spoj väznice – väzník (2)

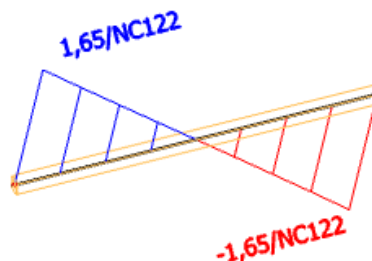
Spoj väznice s väzníkom je rovnako ako spoj (1) rozpera – väzník, riešený pomocou strmeňa BV/T 11-40 od firmy BOVA (obr. 88) a s konvexnými klincami priemeru 4 mm. Rozdiel je v šírke strmeňa, kde tento je navrhnutý na šírku väznice 120 mm.

- Návrh : Strmeň šírky 120 mm, výšky 180 mm, $t = 3 \text{ mm}$
Konvexné klince: $d = 4 \text{ mm}$, dĺžka $l = 50 \text{ mm}$, $f_u = 600 \text{ MPa}$, $n = 20 \text{ ks}$,
hĺbka vniku klinca $t_{pen} = 47 \text{ mm}$



Obrázok 9246: Schéma - Spoj (2) väznica - väzník

- Vnútoré sily : Maximálna ťahová sila : $N_{Ed} = 7,04 \text{ kN}$ (obr. 35)
Maximálna šmyková sila : $V_{Ed,z} = 7,82 \text{ kN}$ (obr. 33)
Príslušná šmyková sila k N_{Ed} : $V_{Ed,z} = 1,65 \text{ kN}$



Obrázok 93: Väznica: príslušná šmyková sila $V_{Ed,z}$ k N_{Ed}

1. Únosnosť strmeňa v ťahu

Podľa výrobcu : $F_{UT} = 97,2 \text{ kN}$

Posúdenie :

$$N_{Ed} \leq F_{UT}$$

$$7,04 \text{ kN} < 97,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

2. Únosnosť klincov (strmeň – väzník)

Únosnosť v strihu podľa výrobcu : $F_{US} = 0,71 \text{ kN}$ (1 klinec)

Celková únosnosť klincov : $F_{US} = 0,71 \cdot n = 0,71 \cdot 20 = 14,2 \text{ kN}$

- Vnútorňa sila : Maximálna šmyková sila $V_{Ed,z} = 7,82 \text{ kN}$

Posúdenie :

$$V_{Ed,z} \leq F_{US}$$

$$7,82 \text{ kN} < 14,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnosť v ťahu podľa výrobcu : $F_{UT} = 0,51 \text{ kN}$ (1 klinec)

Celková únosnosť klincov : $F_{UT} = 0,51 \cdot n = 0,51 \cdot 20 = 10,2 \text{ kN}$

Posúdenie :

$$N_{Ed} \leq F_{UT}$$

$$7,04 \text{ kN} < 10,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

3. Únosnosť klincov (strmeň – väznica)

Únosnosť v strihu podľa výrobcu : $F_{US} = 0,71 \text{ kN}$ (1 klinec)

Celková únosnosť klincov : $F_{US} = 0,71 \cdot n = 0,71 \cdot 20 = 14,2 \text{ kN}$

- Vnútorňa sila : výslednica síl

$$F_d = \sqrt{V_{Ed,z}^2 + N_{Ed}^2} = \sqrt{1,65^2 + 7,04^2} = 7,23 \text{ kN}$$

Posúdenie :

$$F_d \leq F_{US}$$

$$7,23 \text{ kN} < 14,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

8.3 Spoj väzník – vzpera (3)

Väzník je na vzperu uložený na čelnú dosku hrúbky 24 mm, na ktorú sú kolmo privarené styčnickové plechy z oboch strán. Styčnickové plechy sú skryté, vložené do väzníka a do vzpery s hrúbkou 12 mm. Pripevnené sú 4 ks svorníkmi priemeru 16 mm.

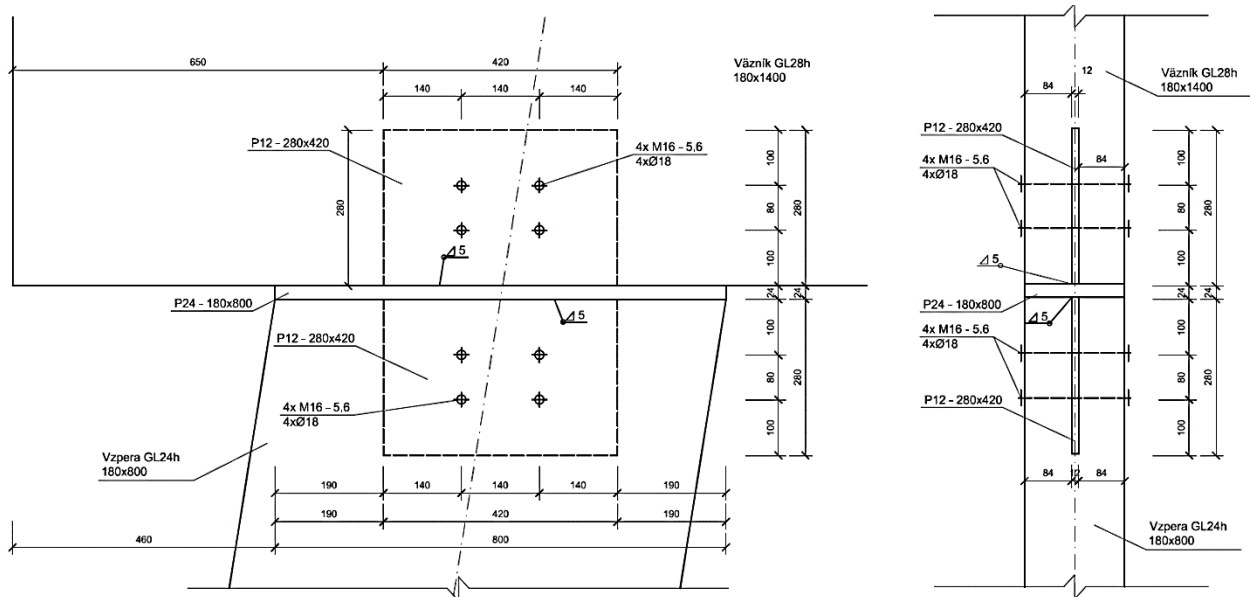
▪ Návrh : Čelná doska: $h = 800 \text{ mm}$, $b = 180 \text{ mm}$, $t = 24 \text{ mm}$

Styčnickový plech: $h = 420 \text{ mm}$, $b = 280 \text{ mm}$, $t = 12 \text{ mm}$

Materiál: Oceľ S355 $f_y = 355 \text{ MPa}$, $f_u = 510 \text{ MPa}$

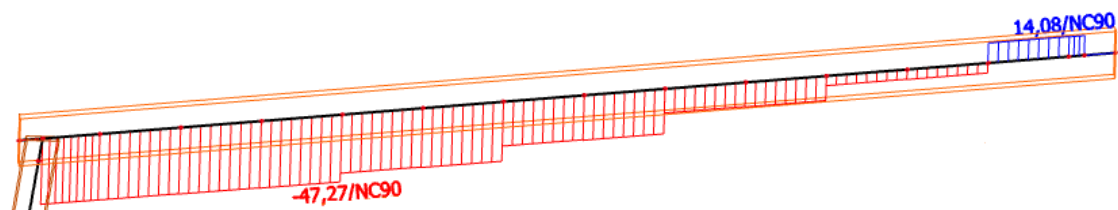
Svorník: $d = 16 \text{ mm}$, $A_S = 157 \text{ mm}^2$, $d_0 = 18 \text{ mm}$, $n = 4 \text{ ks}$

Materiál: 5.6 $f_{u,b} = 500 \text{ MPa}$, $f_{y,b} = 300 \text{ MPa}$, $\alpha_v = 0,6$

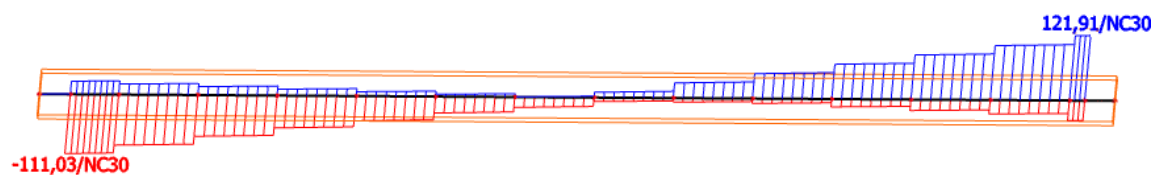


Obrázok 9447: Schéma - Spoj (3) väzník – vzpera

▪ Vnútorne sily : Maximálna osová sila : $N_{Ed} = 47,27 \text{ kN}$
 Max. šmyková sila (väzník): $V_{Ed,z} = 111,03 \text{ kN}$
 Max. šmyková sila (vzpera): $V_{Ed,z} = 28,81 \text{ kN}$ (obr. 48)



Obrázok 95: Väzník: Maximálna osová sila N_{Ed}



Obrázok 96: Väzník: Maximálna šmyková sila $V_{Ed,z}$

1. Čelná doska v ohybe

Hrúbka polovice väzníka bez styč. dosky: $t_l = \frac{(b-t_p)}{2} = \frac{(180-12)}{2} = 84 \text{ mm}$

Prierezový modul: $W_y = \frac{1}{6} \cdot \frac{b_{\text{čel.}}}{2} \cdot t_{\text{čel.}}^2 = \frac{1}{6} \cdot \frac{180}{2} \cdot 24^2 = 8,64 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

- Vnútrotná sila :

Ohyb. moment: $M_{Ed,y} = \frac{V_{Ed,z}}{2} \cdot \left(\frac{t_{\text{styč.}}}{2} + \frac{t_1}{2} \right) = \frac{111,03}{2} \cdot \left(\frac{12}{2} + \frac{84}{2} \right) = 2,66 \text{ kNm}$

- Napätie v ohybe: $\sigma_{m,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{2,66}{8640} \cdot 10^6 = 308,42 \text{ MPa}$

Posúdenie :

$$\sigma_{m,d} \leq f_y$$

$$308,42 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

2. Zvar čelná doska – styčnickový plech

- Návrh : Zvar: $a = 5 \text{ mm}, l = 420 \text{ mm}, \beta_w = 0,9 \text{ mm}$

$$\text{Plocha zvaru: } A = 2 \cdot a \cdot l = 4200 \text{ mm}^2$$

Excentricita osovej sily: $e = 700 \text{ mm}$

- Napätie : $\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,z}}{A} = \frac{28,81 \cdot 10^3}{4200} = 6,86 \text{ MPa}$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed} \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} = \frac{47,27 \cdot 700 \cdot 10^3}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 5 \cdot 420^2} = 112,55 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{112,55}{\sqrt{2}} = 79,58 \text{ MPa}$$

Posúdenie :

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{79,58^2 + 3 \cdot (79,58^2 + 6,86^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$159,61 \text{ kN} < 453,33 \text{ kN}$$

Vyhovuje

3. Svorníkový spoj - väzník

Minimálne vzdialenosti od koncov/okrajov ($\alpha = 90^\circ$)

Rovnobežne s vláknami : $a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = 64 \text{ mm}$

Kolmo k vláknám : $a_2 = (4 \cdot d) = 64 \text{ mm}$

Nezaťažený koniec : $a_{3,c} = \max((1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 4 \cdot d) = 64 \text{ mm}$

Zaťažený okraj : $a_{4,t} = \max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d) = 64 \text{ mm}$

Pevnosť v otláčení :

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 410 = 28,24 \text{ MPa}$$

Plastický moment únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,b} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 16^{2,6} = 202676 \text{ Nmm}$$

Únosnosť jedného spojovacieho prostriedku :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d}{f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right]} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 37,96 \\ 19,03 \\ 22,01 \end{array} \right\} = 19,03 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 19,03}{1,25} = 13,7 \text{ kN} \Rightarrow \text{dvojstrižný} \Rightarrow F_{v,Rd} = 2 \cdot 13,7 = 27,41 \text{ kN}$$

$$n = 4 \text{ ks} \Rightarrow F_{v,Rd} = 4 \cdot 27,41 = 109,62 \text{ kN}$$

Posúdenie :

$$V_{Ed,z} \leq F_{v,Rd}$$

$$28,81 \text{ kN} < 109,62 \text{ kN}$$

Vyhovuje

4. Svorníkový spoj - vzpera

Minimálne vzdialenosti od koncov/okrajov ($\alpha = 90^\circ$)

$$\text{Rovnobežne s vláknami :} \quad a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = 64 \text{ mm}$$

$$\text{Kolmo k vláknám :} \quad a_2 = (4 \cdot d) = 64 \text{ mm}$$

$$\text{Nezaťažný koniec :} \quad a_{3,c} = \max((1 + 6 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 4 \cdot d) = 64 \text{ mm}$$

$$\text{Zaťažný okraj :} \quad a_{4,t} = \max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d) = 64 \text{ mm}$$

Pevnosť v otláčení :

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380 = 26,17 \text{ MPa}$$

Plastický moment únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,b} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 16^{2,6} = 202676 \text{ Nmm}$$

Únosnosť jedného spojovacieho prostriedku :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d}{f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right]} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 35,18 \\ 17,87 \\ 21,19 \end{array} \right\} = 17,87 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 17,87}{1,25} = 12,87 \text{ kN} \Rightarrow \text{dvojstrižný} \Rightarrow F_{v,Rd} = 2 \cdot 12,87 = 25,74 \text{ kN}$$

$$n = 4 \text{ ks} \Rightarrow F_{v,Rd} = 4 \cdot 25,74 = 102,95 \text{ kN}$$

Posúdenie :

$$V_{Ed,z} \leq F_{v,Rd}$$

$$47,27 \text{ kN} < 102,95 \text{ kN}$$

Vyhovuje

8.4 Spoj väzník – tiaholo (4)

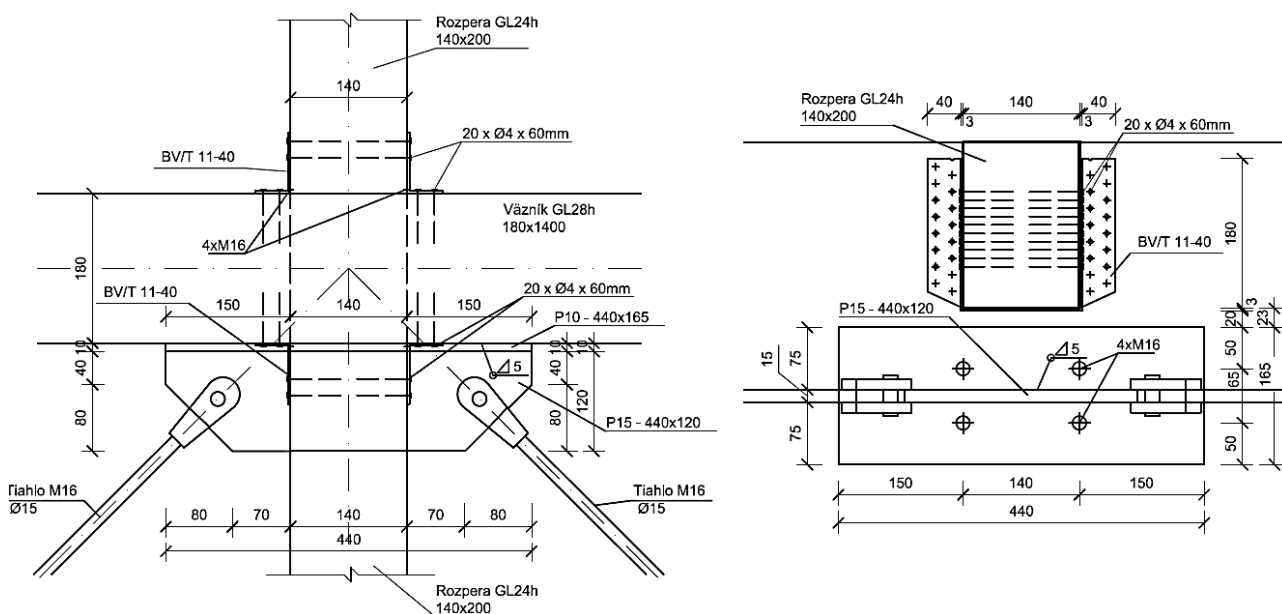
Pod strešnými rozperami je umiestnený spoj väzníka s tiahlami. Tiahla sú pripevnené na plech hrúbky 15 mm, ktorý je kolmo na čelnú dosku hrúbky 10 mm pripojený zvarom. Čelná doska je k väzníku pripevnená pomocou 4 ks svorníkov.

▪ Návrh : Čelná doska: $h = 165 \text{ mm}$, $b = 440 \text{ mm}$, $t = 10 \text{ mm}$

Materiál: Oceľ S355 $f_y = 355 \text{ MPa}$, $f_u = 510 \text{ MPa}$

Svorník: $d = 16 \text{ mm}$, $A_S = 157 \text{ mm}^2$, $d_0 = 18 \text{ mm}$, $n = 4 \text{ ks}$

Materiál: 5.8 $f_{u,b} = 500 \text{ MPa}$, $f_{y,b} = 400 \text{ MPa}$, $\alpha_v = 0,5$



Obrázok 9748: Schéma - Spoj (4) väzník – tiahlá

▪ Vnútorne sily : Maximálna ťahová sila : $N_{Ed} = 55,61 \text{ kN}$ (obr. 85)

Rozklad sily : $N_{d\parallel} = N_{Ed} \cdot \cos(45^\circ) = 39,32 \text{ kN}$

$N_{d\perp} = N_{Ed} \cdot \sin(45^\circ) = 39,32 \text{ kN}$

1. Svorníkový spoj

Minimálne vzdialenosti od koncov/okrajov ($\alpha = 90^\circ$)

Rovnobežne s vláknami : $a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = 64 \text{ mm}$

Kolmo k vláknám : $a_2 = (4 \cdot d) = 64 \text{ mm}$

Zaťažný koniec : $a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = 112 \text{ mm}$

Nezaťažný okraj : $a_{4,c} = (3 \cdot d) = 48 \text{ mm}$

Pevnosť v otlačení :

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 410 = 28,24 \text{ MPa}$$

Plastický moment únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,b} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 16^{2,6} = 202676,4 \text{ Nmm}$$

Únosnosť jedného spojovacieho prostriedku :

$$t_I = 180 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 81,33 \\ 35,27 \\ 22,01 \end{array} \right\} = 22,01 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 22,01}{1,25} = 15,84 \text{ kN} \Rightarrow \text{dvojstrižný} \Rightarrow F_{v,Rd} = 2 \cdot 15,84 = 31,7 \text{ kN}$$

$$n = 4 \text{ ks} \Rightarrow F_{v,Rd} = 4 \cdot 31,7 = 126,78 \text{ kN}$$

Posúdenie :

$$N_{d\parallel} \leq F_{v,Rd}$$

$$39,32 \text{ kN} < 126,78 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnosť v ťahu :

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mo}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 157}{1,0} = 70,65 \text{ kN}$$

$$n = 4 \text{ ks} \Rightarrow F_{t,Rd} = 4 \cdot 70,65 = 282,6 \text{ kN}$$

Posúdenie :

$$2 \cdot N_{d\perp} \leq F_{t,Rd}$$

$$78,64 \text{ kN} < 282,6 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnosť v kombinácii strihu a ťahu:

Posúdenie :

$$\frac{N_{\parallel}}{F_{v,Rd}} + \frac{2 \cdot N_{\perp}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{39,32}{126,78} + \frac{2 \cdot 39,32}{282,6} \leq 1,0$$

$$0,59 < 1,0$$

Vyhovuje

2. Zvar čelná doska – styčnickový plech

- Návrh : Zvar: $a = 4 \text{ mm}, l = 420 \text{ mm}, \beta_w = 0,9 \text{ mm}$
Plocha zvaru: $A = 2 \cdot a \cdot l = 3360 \text{ mm}^2$

- Napätie : $\tau_{\parallel} = \frac{N_{\parallel}}{A} = \frac{39,32 \cdot 10^3}{3360} = 11,7 \text{ MPa}$

$$\sigma_w = \frac{N_{\perp} \cdot 2}{A} = \frac{2 \cdot 39,32 \cdot 10^3}{3360} = 23,41 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{23,41}{\sqrt{2}} = 16,55 \text{ MPa}$$

Posúdenie :

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{16,55^2 + 3 \cdot (16,55^2 + 11,7^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

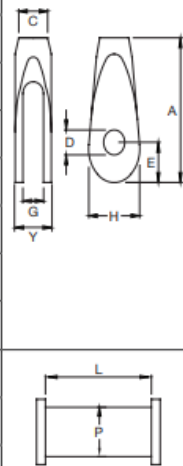
$$38,82 \text{ kN} < 453,33 \text{ kN}$$

Vyhovuje

3. Ocel'ové tiahlo

Údaje o hrúbke plechu, rozmeroch koncovky a priemeru čapu sú uvedené výrobcom tiaha.

Component Dimensions																
Thread	Units	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56	M64	M76	M85	M90	M100
Fork Ref.		FA/10	FA/12	FA/16	FA/20	FA/24	FA/30	FA/36	FA/42	FA/48	FA/56	FA/64	FA/76	FA/85	FA/90	FA/100
A	mm	63.0	75.0	99.0	122.0	148.0	178.0	204.0	232.0	266.0	314.0	348.0	410.0	459.0	489.0	555.0
G	mm	11.0	12.0	15.0	19.0	24.0	26.0	34.0	39.0	44.0	49.0	56.0	76.0	78.0	86.0	91.0
C	mm	17.0	19.0	25.0	29.0	35.0	44.0	52.0	60.0	69.0	80.0	91.0	108.0	121.0	129.0	143.0
D	mm	11.5	13.0	17.0	21.4	25.5	31.5	37.5	43.5	49.5	57.5	65.5	78.5	91.5	96.5	111.5
E	mm	18.0	22.0	29.0	34.0	42.0	53.0	61.0	70.0	81.0	97.0	111.0	132.0	153.0	162.0	188.0
Y	mm	20.0	22.0	28.0	37.0	44.0	50.0	64.0	75.0	87.0	97.0	115.0	146.0	154.0	169.0	174.0
H	mm	30.0	34.0	45.0	53.0	64.0	81.0	93.0	109.0	123.0	147.0	169.0	201.0	236.0	248.0	289.0
Architectural Pin Ref.		PA/10	PA/12	PA/16	PA/20	PA/24	PA/30	PA/36	PA/42	PA/48	PA/56	PA/64	PA/76	PA/85	PA/90	PA/100
P Dia.	mm	10.5	12.0	16.0	20.0	24.0	29.0	35.0	41.0	47.0	55.0	63.0	76.0	90.0	93.0	108.0
L	mm	22.0	24.0	30.0	39.0	46.0	52.0	66.0	78.0	91.0	100.0	120.0	151.0	155.0	175.0	180.0



Obrázok 98: Geometrické vlastnosti tiahel Macalloy 460 [22]

Pre zvolené tiahlo Macalloy 460 so závitom M16 :

- Koncovka FA/16
- Čap s priemerom 16 mm
- Hrúbka plechu 15 mm

8.5 Spoj väzník – ŽB stĺp (5)

Väzník je k železobetónovému stĺpu pripojený pomocou neposuvnej klbovej podpory, ktorú predstavuje čapový spoj. Čap je navrhnutý s priemerom 35 mm a umiestnený je v čapových plechoch. Tie sú privarené k čelnej doske pri väzníku a k plechu prichytenému na ŽB stĺpe. Vo väzníku sa nachádza vsunutý styčnickový plech, ktorý je kolmo k čelnej doske pripojený zvarom. Styčnickový plech ja s väzníkom spojený pomocou 12 ks svorníkov.

▪ Návrh : Čelná doska: $h = 460 \text{ mm}, b = 180 \text{ mm}, t = 25 \text{ mm}$

Styčnickový plech: $h = 460 \text{ mm}, b = 480 \text{ mm}, t = 14 \text{ mm}$

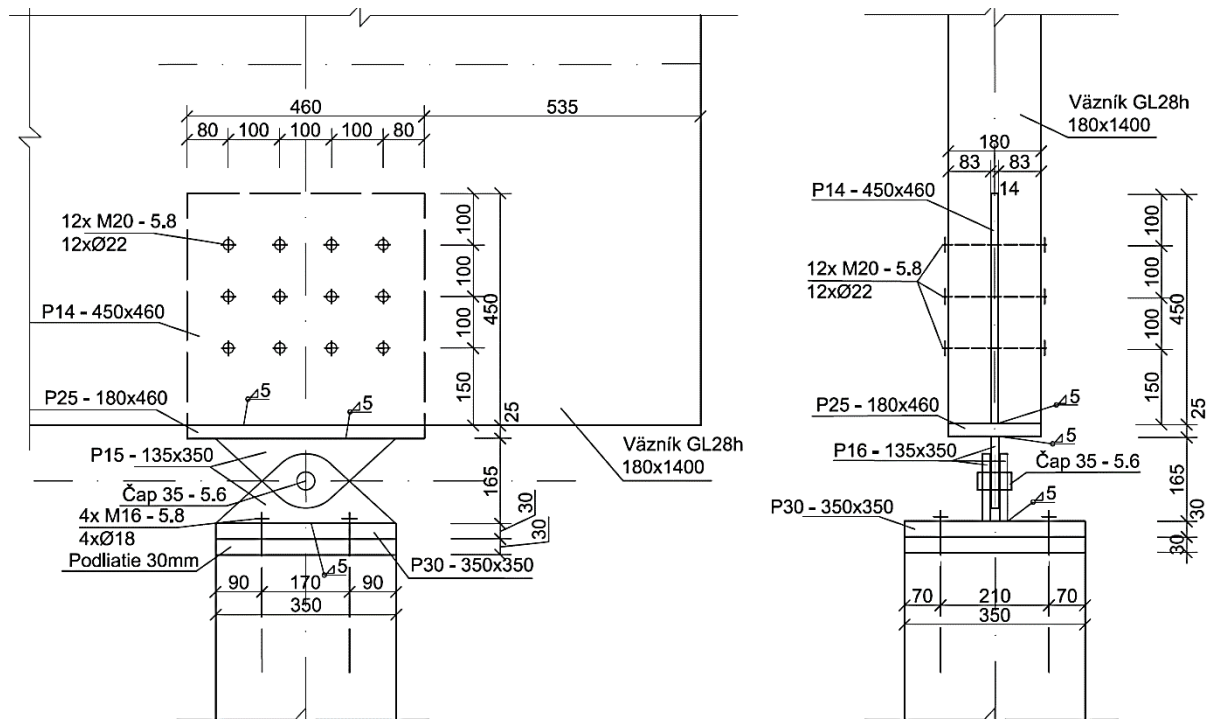
Materiál: Oceľ S355 $f_y = 355 \text{ MPa}, f_u = 510 \text{ MPa}$

Svorník: $d = 20 \text{ mm}, A_s = 245 \text{ mm}^2, d_0 = 22 \text{ mm}, n = 12 \text{ ks}$

Materiál: 5.8 $f_{u,b} = 500 \text{ MPa}, f_{y,b} = 400 \text{ MPa}, \alpha_v = 0,5$

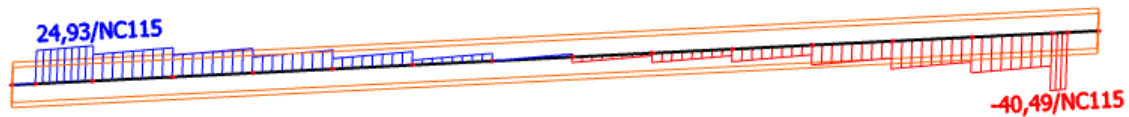
Čap: Materiál: 5.6 $f_{u,b} = 500 \text{ MPa}, f_{y,b} = 300 \text{ MPa}, \alpha_v = 0,6$

Čapové plechy: Materiál: : Oceľ S355 $f_y = 355 \text{ MPa}, f_u = 510 \text{ MPa}$

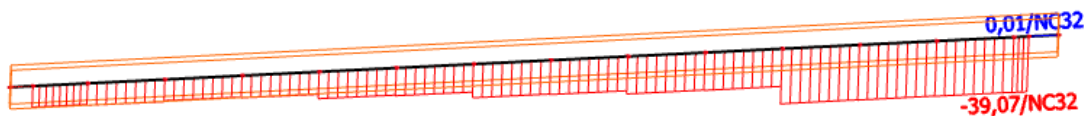


Obrázok 9949: Schéma - Spoj (5) väzník – ŽB stĺp

- Vnútorne sily : Maximálna ťahová sila : $N_{Ed}^+ = 78,96 \text{ kN}$ (obr. 56)
 Príslušná šmyková sila k N_{Ed}^+ : $V_{Ed,z} = 40,49 \text{ kN}$
 Maximálna šmyková sila : $V_{Ed,z} = 123,28 \text{ kN}$ (obr. 54)
 Príslušná tlaková sila k $V_{Ed,z}$: $N_{Ed}^- = 39,07 \text{ kN}$



Obrázok 100: Väzník: Príslušná šmyková sila $V_{Ed,z}$ k N_{Ed}



Obrázok 101: Väzník: Príslušná tlaková sila N_{Ed} k $V_{Ed,z}$

1. Čelná doska v ohybe

Hrúbka polovice väzníka bez styč. dosky: $t_l = \frac{(b-t_p)}{2} = \frac{(180-14)}{2} = 83 \text{ mm}$

Prierezový modul: $W_y = \frac{1}{6} \cdot \frac{b_{\text{čel.}}}{2} \cdot t_{\text{čel.}}^2 = \frac{1}{6} \cdot \frac{180}{2} \cdot 25^2 = 9,38 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

- Vnútorná sila :

Ohyb. Moment: $M_{Ed,y} = \frac{V_{Ed,z}}{2} \cdot \left(\frac{t_{\text{styč.}}}{2} + \frac{t_1}{2} \right) = \frac{123,3}{2} \cdot \left(\frac{14}{2} + \frac{83}{2} \right) = 3,0 \text{ kNm}$

- Napätie v ohybe: $\sigma_{m,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{3,00}{9375} \cdot 10^6 = 318,88 \text{ MPa}$

Posúdenie :

$$\sigma_{m,d} \leq f_y$$

$$318,88 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

2. Zvar čelná doska – styčníkový plech

- Návrh : Zvar: $a = 5 \text{ mm}, l = 460 \text{ mm}, \beta_w = 0,9 \text{ mm}$
 Plocha zvaru: $A = 2 \cdot a \cdot l = 4600 \text{ mm}^2$

Vnútorne sily : Maximálna osová sila $N_{Ed} = 78,96 \text{ kN}$

 Príslušná šmyková sila $V_{Ed,z} = 40,49 \text{ kN}$

Excentricita osovej sily: $e = 700 \text{ mm}$

▪ Napätie :

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,z}}{A} = \frac{40,49 \cdot 10^3}{4600} = 8,80 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed} \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} = \frac{78,96 \cdot 700 \cdot 10^3}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 5 \cdot 460^2} = 156,73 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{156,73}{\sqrt{2}} = 110,8 \text{ MPa}$$

Posúdenie :

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{110,8^2 + 3 \cdot (110,8^2 + 8,8^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

222,17 kN < 453,33 kN Vyhovuje

3. Svorníkový spoj

Minimálne vzdialenosti od koncov/okrajov ($\alpha = 90^\circ$)

Rovnobežne s vláknami : $a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = 80 \text{ mm}$

Kolmo k vláknám : $a_2 = (4 \cdot d) = 80 \text{ mm}$

Zaťažný koniec : $a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = 140 \text{ mm}$

Nezaťažný okraj : $a_{4,c} = (3 \cdot d) = 60 \text{ mm}$

▪ Vnútorne sily :

Maximálna šmyková sila :	$V_{Ed,z} = 123,28 \text{ kN}$	
Príslušná tlaková sila k $V_{Ed,z}$:	$N_{Ed} = 39,07 \text{ kN}$	

Excentricita osovej sily: $e = 450 \text{ mm}$

$$\text{Sila } N_d = \frac{N_{Ed} \cdot 700}{e + 700} = \frac{39,07 \cdot 700}{450 + 700} = 23,78 \text{ kN}$$

Výslednica síl: $F_d = \sqrt{V_{Ed,z}^2 + N_d^2} = \sqrt{123,28^2 + 23,78^2} = 125,55 \text{ kN}$

Pevnosť v otláčení :

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 410 = 26,90 \text{ MPa}$$

$$\text{súčiniteľ } k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 20 = 1,65$$

$$f_{h,79,k} = \frac{f_{h,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = 16,54 \text{ MPa}$$

Plastický moment únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,b} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 20^{2,6} = 362051 \text{ Nmm}$$

Únosnosť jedného spojovacieho prostriedku :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,79,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,79,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,79,k} \cdot d} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 27,45 \\ 17,12 \\ 25,17 \end{array} \right\} = 17,12 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 17,12}{1,25} = 12,32 \text{ kN} \Rightarrow F_{v,Rd} = n \cdot 12,32 = 12 \cdot 12,32 = 147,9 \text{ kN}$$

Posúdenie :

$$F_d \leq F_{v,Rd}$$

$$125,55 \text{ kN} < 147,9 \text{ kN}$$

Vyhovuje

4. Čap

- Vnútročné sily : Maximálna šmyková sila : $V_{Ed,z} = 123,28 \text{ kN}$
Príslušná tlaková sila k $V_{Ed,z}$: $N_{Ed} = 39,07 \text{ kN}$

Výslednica síl: $F_d = \sqrt{V_{Ed,z}^2 + N_{Ed}^2} = \sqrt{123,08^2 + 39,1^2} = 129,32 \text{ kN}$

- Návrh :

Hr. čap. plechu: $0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_d \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} \leq t_{p1} \Rightarrow 0,7 \cdot \sqrt{\frac{129,32 \cdot 1,0}{355}} = 13,36 \text{ mm} < t_{p1} = 15 \text{ mm}$
 $t_{p2} = 2 \cdot t_{p1} = 2 \cdot 15 = 30 \text{ mm}$
 $t_{p3} = 2 \text{ mm}$

Priemer čapu: $d_0 \leq 2,5 \cdot t_{p1} = 2,5 \cdot 15 = 37,5 \text{ mm} \Rightarrow d_0 = 35 \text{ mm}$

Plocha: $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 35^2}{4} = 962,11 \text{ mm}^2$

Únosnosť v strihu: $F_{v,Rd} = 0,6 \cdot \frac{f_{u,b} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \frac{500 \cdot 962,11}{1,25} = 230,91 \text{ kN}$

Únosnosť v otláčení: $F_{b,Rd} = 1,5 \cdot t_{p1} \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 15 \cdot 35 \cdot \frac{355}{1,0} = 279,56 \text{ kN}$

Pozn. Rozhoduje menšia z únosností v strihu $F_{v,Rd}$ a v otláčení $F_{b,Rd}$.

Posúdenie :

$$F_d \leq F_{v,Rd}$$

$$129,32 \text{ kN} < 230,91 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnosť v ohybe: $M_{Ed} = \frac{F_d}{8} \cdot (t_{p1} + t_{p2} + 4 \cdot t_{p3}) = \frac{129,32}{8} \cdot (15 + 30 + 4 \cdot 2) = 0,86 \text{ kNm}$

$$W_0 = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 35^3}{32} = 4209,24 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_0 \cdot \frac{f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 4209,24 \cdot \frac{300}{1,0} = 1,89 \text{ kNm}$$

Posúdenie :

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$0,86 \text{ kNm} < 1,89 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Únosnosť v kombinácii strihu a ohybu:

Posúdenie :

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_d}{F_{V,Rd}}\right)^2 \leq 1,0 \Rightarrow \left(\frac{0,86}{1,89}\right)^2 + \left(\frac{129,32}{230,91}\right)^2 \leq 1,0$$

$$0,52 < 1,0$$

Vyhovuje

5. Zvar čapový plech – pätný plech

- Návrh : Zvar: $a = 5 \text{ mm}, l = 350 \text{ mm}, \beta_w = 0,9 \text{ mm}$

$$\text{Plocha zvaru: } A = 2 \cdot a \cdot l = 3500 \text{ mm}^2$$

Vnútorne sily : Maximálna osová sila $N_{Ed} = 78,96 \text{ kN}$

Príslušná šmyková sila $V_{Ed,z} = 40,49 \text{ kN}$

Vnútorne sily pôsobiace na 1 čapový plech : $N_d = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{78,96}{2} = 39,48 \text{ kN}$

$$V_d = \frac{V_{Ed,z}}{2} = \frac{40,49}{2} = 20,25 \text{ kN}$$

Excentricita osovej sily: $e = 890 \text{ mm}$

- Napätie : $\tau_{\parallel} = \frac{V_d}{A} = \frac{20,25 \cdot 10^3}{3500} = 5,78 \text{ MPa}$

$$\sigma_w = \frac{N_d \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} = \frac{39,48 \cdot 890 \cdot 10^3}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 5 \cdot 350^2} = 172,10 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{172,10}{\sqrt{2}} = 121,69 \text{ MPa}$$

Posúdenie :

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{121,69^2 + 3 \cdot (121,69^2 + 5,78^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$243,59 \text{ kN} < 453,33 \text{ kN}$$

Vyhovuje

8.6 Spoj vzpera – ŽB pätku (6)

Riešenie ukotvenia vzpery na železobetónovú pätku je zvolené taktiež čapové. Čap s priemerom 40 mm sa nachádza v plechu a v ložisku, ktoré sú zvarmi prichytené k čelnej doske a k pätnému plechu hrúbky 30 mm. Čelná doska je privarená k styčnickovému plechu vloženému do vzpery a prichytenému 4 svorníkovými spojmi a pätný plech k ŽB pätku pripojujú 4 kotevné skrutky.

▪ Návrh : Čelná doska: $h = 480 \text{ mm}$, $b = 180 \text{ mm}$, $t = 30 \text{ mm}$

Styčnickový plech: $h = 480 \text{ mm}$, $b = 400 \text{ mm}$, $t = 14 \text{ mm}$

Materiál: Oceľ S355 $f_y = 355 \text{ MPa}$, $f_u = 510 \text{ MPa}$

Svorník: $d = 16 \text{ mm}$, $A_S = 157 \text{ mm}^2$, $d_0 = 18 \text{ mm}$, $n = 4 \text{ ks}$

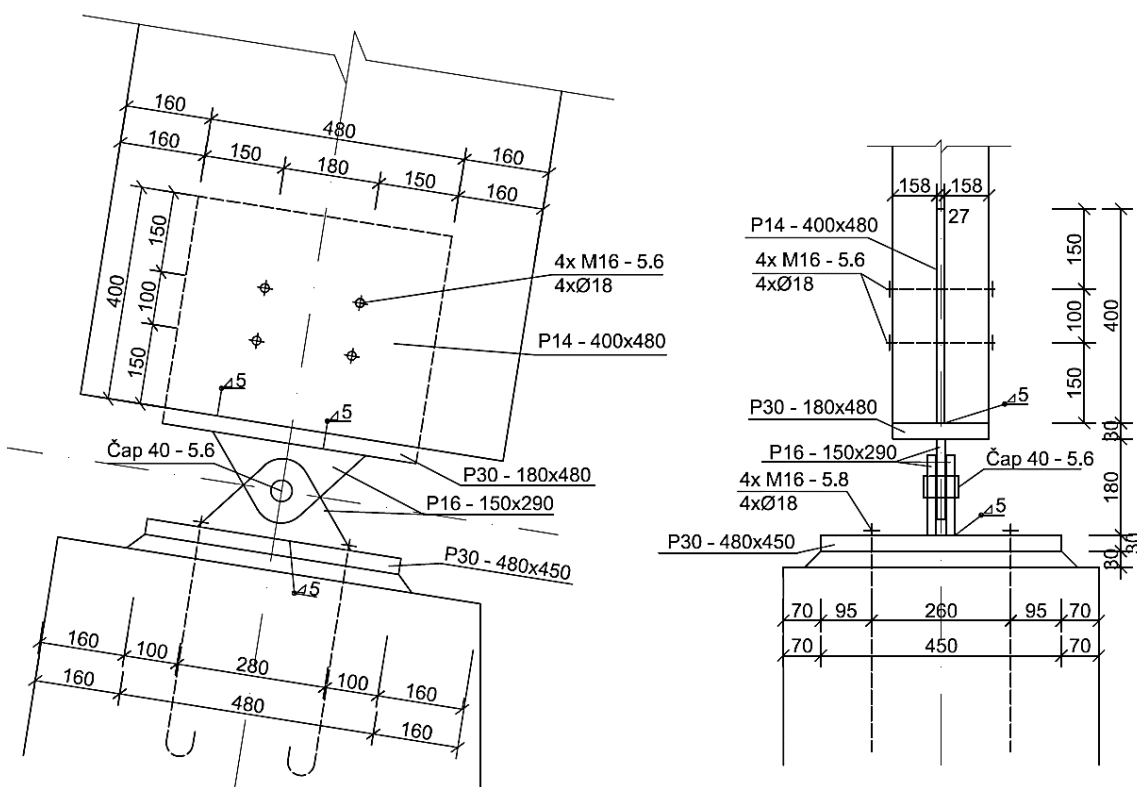
Materiál: 5.6 $f_{u,b} = 500 \text{ MPa}$, $f_{y,b} = 300 \text{ MPa}$, $\alpha_v = 0,6$

Kotevná skrutka: $d = 16 \text{ mm}$, $A_S = 157 \text{ mm}^2$, $d_0 = 18 \text{ mm}$, $n = 4 \text{ ks}$

Materiál: 5.8 $f_{u,b} = 500 \text{ MPa}$, $f_{y,b} = 400 \text{ MPa}$, $\alpha_v = 0,5$

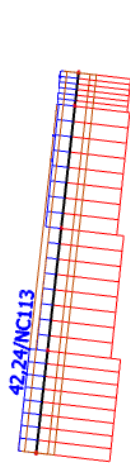
Čap: Materiál: 5.6 $f_{u,b} = 500 \text{ MPa}$, $f_{y,b} = 300 \text{ MPa}$, $\alpha_v = 0,6$

Čapové plechy: Materiál: : Oceľ S355 $f_y = 355 \text{ MPa}$, $f_u = 510 \text{ MPa}$

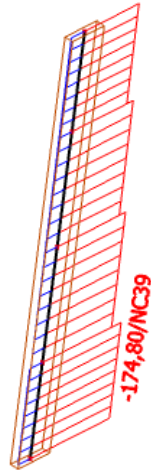


Obrázok 10250: Schéma - Spoj (6) vzpera – ŽB pätku

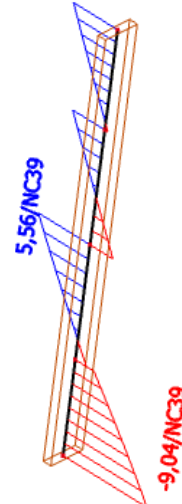
- Vnútorne sily :
 - Maximálna ťahová sila : $N_{Ed}^+ = 42,24 \text{ kN}$
 - Maximálna šmyková sila : $V_{Ed,z} = 28,81 \text{ kN}$ (obr. 48)
 - Maximálna tlaková sila: $N_{Ed}^- = 174,67 \text{ kN}$
 - Príslušná šmyková sila k N_{Ed}^- : $V_{Ed,y} = 9,04 \text{ kN}$



Obrázok 103: Vzpera: Maximálna ťahová sila N_{Ed}



Obrázok 104: Vzpera: Maximálna tlaková sila N_{Ed}



Obrázok 105: Vzpera: Príslušná šmyková sila $V_{Ed,y}$ k N_{Ed}

1. Čelná doska v ohybe

Hrúbka polovice vzpery bez styč. dosky: $t_l = \frac{(b-t_p)}{2} = \frac{(180-14)}{2} = 83 \text{ mm}$

Prierezový modul: $W_y = \frac{1}{6} \cdot \frac{b_{\text{čel.}}}{2} \cdot t_{\text{čel.}}^2 = \frac{1}{6} \cdot \frac{180}{2} \cdot 30^2 = 13,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

- Vnútorná sila : Ohyb. moment $M_{Ed,y} = \frac{N_{Ed}}{2} \cdot \left(\frac{t_{\text{styč.}}}{2} + \frac{t_1}{2} \right) = \frac{174,8}{2} \cdot \left(\frac{14}{2} + \frac{83}{2} \right) = 4,24 \text{ kNm}$
- Napätie v ohybe: $\sigma_{m,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{4,24}{13500} \cdot 10^6 = 313,99 \text{ MPa}$

Posúdenie :

$$\sigma_{m,d} \leq f_y$$

$$313,99 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

2. Zvar čelná doska – styčnickový plech

- Návrh : Zvar: $a = 5 \text{ mm}, l = 150 \text{ mm}, \beta_w = 0,9 \text{ mm}$
 Plocha zvaru: $A = 2 \cdot a \cdot l = 1500 \text{ mm}^2$
- Napätie : $\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{174,8 \cdot 10^3}{1500} = 116,53 \text{ MPa}$
 $\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{116,53}{\sqrt{2}} = 82,40 \text{ MPa}$

Posúdenie :

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$
$$\sqrt{82,40^2 + 3 \cdot 82,40^2} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$164,80 \text{ kN} < 453,33 \text{ kN}$$

Vyhovuje

3. Svorníkový spoj

Minimálne vzdialenosti od koncov/okrajov ($\alpha = 90^\circ$)

Rovnobežne s vláknami : $a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = 64 \text{ mm}$

Kolmo k vláknám : $a_2 = (4 \cdot d) = 64 \text{ mm}$

Zaťažný koniec : $a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = 112 \text{ mm}$

Nezaťažný okraj : $a_{4,c} = (3 \cdot d) = 48 \text{ mm}$

- Vnútorňa sila : Maximálna ťahová sila $N_{Ed} = 42,24 \text{ kN}$

Pevnosť v otláčení :

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380 = 26,17 \text{ MPa}$$

$$\text{súčiniteľ } k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59$$

$$f_{h,8,k} = \frac{f_{h,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = 25,88 \text{ MPa}$$

Plastický moment únosnosti: $M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,b} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 16^{2,6} = 202676,4 \text{ Nmm}$

Únosnosť jedného spojovacieho prostriedku :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,8,k} \cdot t_1 \cdot d}{f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,8,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right]} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,8,k} \cdot d} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 34,37 \\ 17,57 \\ 21,07 \end{array} \right\} = 17,57 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 17,57}{1,25} = 12,65 \text{ kN} \Rightarrow F_{v,Rd} = n \cdot 12,65 = 4 \cdot 12,65 = 50,61 \text{ kN}$$

Posúdenie :

$$N_{Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$42,24 \text{ kN} < 50,61 \text{ kN}$$

Vyhovuje

4. Čap

- Vnútorne sily : Maximálna tlaková sila $N_{Ed} = 174,8 \text{ kN}$

Príslušná šmyková sila $V_{Ed,y} = 9,04 \text{ kN}$

Výslednica síl: $F_d = \sqrt{V_{Ed,y}^2 + N_{Ed}^2} = \sqrt{9,04^2 + 174,8^2} = 175,03 \text{ kN}$

- Návrh :

$$\text{Hr. \u010dap. plechu: } 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_d \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} \leq t_{p,l} \Rightarrow 0,7 \cdot \sqrt{\frac{175,03 \cdot 1,0}{355}} = 15,54 \text{ mm} < t_{p,l} = 16 \text{ mm}$$

$$t_{p2} = 2 \cdot t_{p,l} = 2 \cdot 16 = 32 \text{ mm}$$

$$t_{p3} = 2 \text{ mm}$$

$$\text{Priemer \u010dapu: } d_0 \leq 2,5 \cdot t_{p,l} = 2,5 \cdot 16 = 40 \text{ mm} \Rightarrow d_0 = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Plocha: } A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 40^2}{4} = 1256,64 \text{ mm}^2$$

$$\text{\u00fasnosn\u00f3\u0165\u00f3 v strihu: } F_{v,Rd} = 0,6 \cdot \frac{f_{u,b} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \frac{500 \cdot 1256,64}{1,25} = 301,59 \text{ kN}$$

$$\text{\u00fasnosn\u00f3\u0165\u00f3 v otl\u00e1\u010den\u00ed: } F_{b,Rd} = 1,5 \cdot t_{p,l} \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 16 \cdot 40 \cdot \frac{355}{1,0} = 340,8 \text{ kN}$$

Pozn. Rozhoduje men\u0161ia z \u00fasnosn\u00f3\u0165\u00f3\u0165\u00f3 v strihu $F_{v,Rd}$ a v otl\u00e1\u010den\u00ed $F_{b,Rd}$.

Pos\u00fasudenie :

$$F_d \leq F_{v,Rd}$$

$$175,03 \text{ kN} < 301,59 \text{ kN}$$

Vyhovuje

\u00fasnosn\u00f3\u0165\u00f3 v ohybe:

$$M_{Ed} = \frac{F_d}{8} \cdot (t_{p1} + t_{p2} + 4 \cdot t_{p3}) = \frac{175,03}{8} \cdot (16 + 32 + 4 \cdot 2) = 1,22 \text{ kNm}$$

$$W_0 = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 40^3}{32} = 6283,19 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_0 \cdot \frac{f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 6283,19 \cdot \frac{300}{1,0} = 2,83 \text{ kNm}$$

Pos\u00fasudenie :

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$1,22 \text{ kNm} < 2,83 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

\u00fasnosn\u00f3\u0165\u00f3 v kombin\u00e1cii strihu a ohybu:

Pos\u00fasudenie :

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_d}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1,0 \Rightarrow \left(\frac{1,22}{2,83}\right)^2 + \left(\frac{175,03}{301,59}\right)^2 \leq 1,0$$

$$0,53 < 1,0$$

Vyhovuje

5. Zvar čapový plech – pätný plech

- Návrh : Zvar: $a = 5 \text{ mm}, l = 150 \text{ mm}, \beta_w = 0,9 \text{ mm}$
Plocha zvaru: $A = 2 \cdot a \cdot l = 1500 \text{ mm}^2$

- Vnútorne sily : Maximálna tlaková sila $N_{Ed} = 174,8 \text{ kN}$
Príslušná šmyková sila $V_{Ed,y} = 9,04 \text{ kN}$

Vnútorne sily pôsobiace na 1 čapový plech : $N_d = \frac{N_{Ed}}{2} = \frac{174,8}{2} = 87,4 \text{ kN}$

$$V_d = \frac{V_{Ed,y}}{2} = \frac{9,04}{2} = 4,52 \text{ kN}$$

Excentricita šmykovej sily: $e = 200 \text{ mm}$

- Napätie : $\tau_{\parallel} = \frac{V_d}{A} = \frac{4,52 \cdot 10^3}{1500} = 3,01 \text{ MPa}$
 $\sigma_w = \frac{V_d \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2} + \frac{N_d}{A} = \frac{4,52 \cdot 200 \cdot 10^3}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 5 \cdot 150^2} + \frac{87,4 \cdot 10^3}{1500} = 82,37 \text{ MPa}$
 $\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{82,37}{\sqrt{2}} = 58,25 \text{ MPa}$

Posúdenie :

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{58,25^2 + 3 \cdot (58,25^2 + 3,01^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$116,61 \text{ kN} < 453,33 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

6. Kotevná skrutka

Vzdialenosti od koncov/okrajov $e_1 = 100 \text{ mm} \quad p_1 = 280 \text{ mm}$

$e_2 = 100 \text{ mm} \quad p_2 = 260 \text{ mm}$

Sila na 1 skrutku: $F_d = \frac{V_{Ed,z}}{n} = \frac{28,81}{4} = 7,2 \text{ kN}$

Únosnosť v strihu: $F_{v,Rd} = 2 \frac{\alpha_v \cdot f_{u,b} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 62,8 \text{ kN}$

Únosnosť v otlačení:

$$k_l = \min \left\{ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \right\} = \left\{ \frac{2,5}{13,86} \right\} = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \\ 0,98 \\ 1,85 \\ 4,94 \end{array} \right\} = 0,98$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,7 \cdot 510 \cdot 16 \cdot 30}{1,25} = 480 \text{ kN}$$

Pozn. Rozhoduje menšia z únosností v strihu $F_{v,Rd}$ a v otláčení $F_{b,Rd}$.

Posúdenie :

$$F_d \leq F_{v,Rd}$$

$$7,2 \text{ kN} < 62,8 \text{ kN}$$

Vyhovuje

7. Pätný plech

▪ Návrh : Pätný plech: $a = 450 \text{ mm}$, $b = 480 \text{ mm}$, $t = 20 \text{ mm}$

Materiál: $f_y = 355 \text{ MPa}$

Bet. pätká: $a_l = 590 \text{ mm}$, $b_l = 800 \text{ mm}$, $f_{cd} = 13,33 \text{ MPa}$

súčiniteľ koncentrácie: $k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{590 \cdot 800}{450 \cdot 480}} = 1,48$

súčiniteľ vplyvu podliatia: $\beta_j = 2/3$

návrhová pevnosť betónu v spáre: $f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{cd} = \frac{2}{3} \cdot 1,48 \cdot 13,33 = 13,14 \text{ MPa}$

účinná dĺžka konzoly pätného plechu:

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 13,14 \cdot 1,0}} = 60,02 \text{ mm}$$

účinná plocha pätného plechu: $b_{ef} = 2 \cdot c + 52 = 2 \cdot 60,02 + 52 = 172,04 \text{ mm}$

$$l_{ef} = 2 \cdot c + 290 = 2 \cdot 60,02 + 290 = 410,04 \text{ mm}$$

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot l_{ef} = 172,04 \cdot 410,04 = 70,54 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Posúdenie :

$$A = \frac{N_{Ed}}{f_{jd}} \leq A_{ef}$$

$$\frac{174,8}{13,14} \text{ mm}^2 \leq 70,54 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

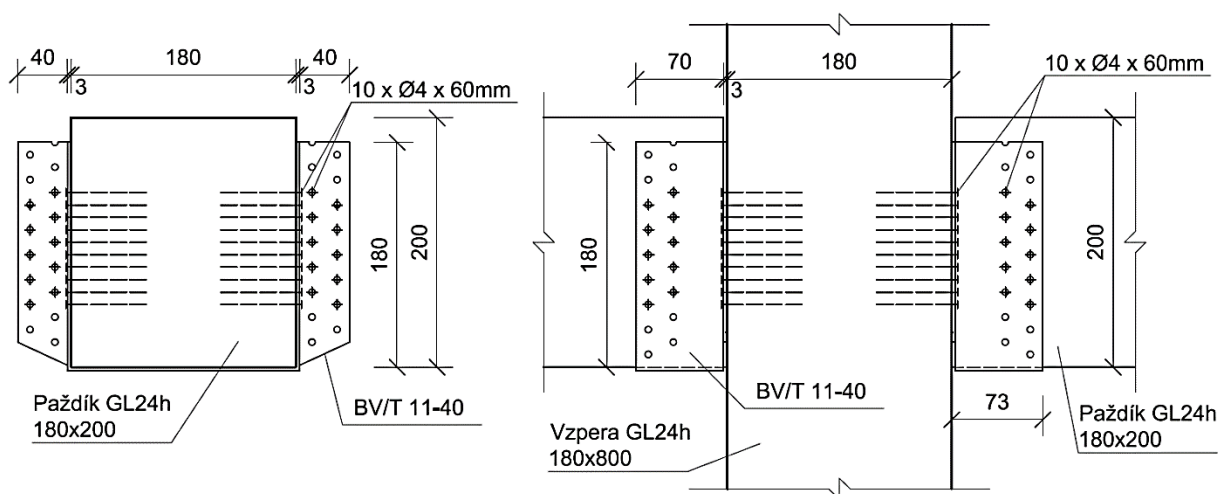
$$13,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 < 70,54 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Vyhovuje

8.7 Spoj vzpera – paždík (7)

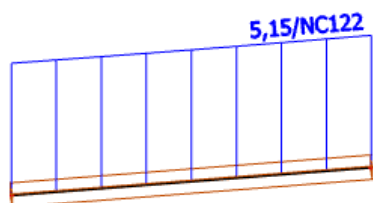
Vo fasáde haly je fasádna rozpera (paždík) pripojená ku vzpere pomocou strmeňa BOVA BV/T 11-40 (obr. 88) v miestach kde nie sú pripojené drevené stužidlá. Strmeň je ku vzpere a ku paždíku prikotvený konvexnými klincami priemeru 4 mm, rovnako od firmy BOVA, ktorá uvádza aj ich únosnosti.

- Návrh : Strmeň šírky 180 mm, výšky 180 mm, $t = 3$ mm
Konvexné klince: $d = 4$ mm, dĺžka $l = 60$ mm, $f_u = 600$ MPa, $n = 20$ ks, hĺbka vniku klinca $t_{pen} = 57$ mm

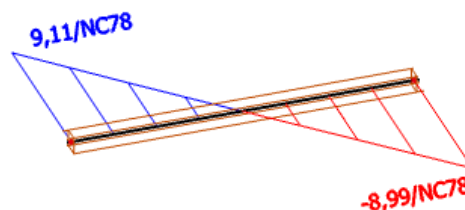


Obrázok 10651: Schéma - Spoj (7) vzpera - paždík

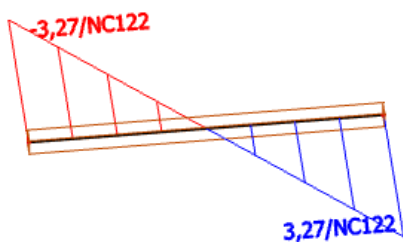
- Vnútorne sily : Maximálna ťahová sila : $N_{Ed} = 5,15$ kN
Maximálna šmyková sila : $V_{Ed,y} = 9,11$ kN
Príslušná šmyková sila k N_{Ed} : $V_{Ed,y} = 3,27$ kN
Príslušná šmyková sila k $V_{Ed,y}$: $V_{Ed,z} = 4,94$ kN



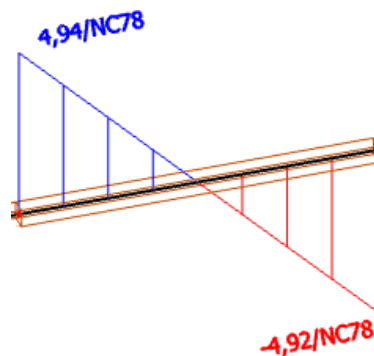
Obrázok 107: Paždík: maximálna ťahová sila N_{Ed}



Obrázok 108: Paždík: maximálna šmyková sila $V_{Ed,y}$



Obrázok 109: Paždík: príslušná šmyková sila $V_{Ed,y}$
 $k N_{Ed}$



Obrázok 110: Paždík: príslušná šmyková sila $V_{Ed,z}$
 $k V_{Ed,y}$

1. Únosnosť strmeňa v ťahu

Podľa výrobcu : $F_{UT} = 97,2 \text{ kN}$

Posúdenie :

$$N_{Ed} \leq F_{UT}$$

$$5,15 \text{ kN} < 97,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

2. Únosnosť klincov (strmeň – vzpera)

Únosnosť v strihu podľa výrobcu : $F_{US} = 0,71 \text{ kN}$ (1 klinec)

Celková únosnosť klincov : $F_{US} = 0,71 \cdot n = 0,71 \cdot 20 = 14,2 \text{ kN}$

- Vnútoraná sila : výslednica síl

$$F_d = \sqrt{V_{Ed,z}^2 + V_{Ed,y}^2} = \sqrt{4,94^2 + 9,11^2} = 10,36 \text{ kN}$$

Posúdenie :

$$F_d \leq F_{US}$$

$$10,36 \text{ kN} < 14,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnosť v ťahu podľa výrobcu : $F_{UT} = 0,64 \text{ kN}$ (1 klinec)

Celková únosnosť klincov : $F_{UT} = 0,64 \cdot n = 0,64 \cdot 20 = 12,8 \text{ kN}$

Posúdenie :

$$N_{Ed} \leq F_{UT}$$

$$5,15 \text{ kN} < 12,8 \text{ kN}$$

Vyhovuje

3. Únosnosť klincov (strmeň – pažďík)

Únosnosť v strihu podľa výrobcu : $F_{US} = 0,71 \text{ kN}$ (1 klinec)

Celková únosnosť klincov : $F_{US} = 0,71 \cdot n = 0,71 \cdot 20 = 14,2 \text{ kN}$

- Vnútoraná sila : výslednica síl

$$F_d = \sqrt{V_{Ed,y}^2 + N_{Ed}^2} = \sqrt{3,27^2 + 5,15^2} = 6,10 \text{ kN}$$

Posúdenie :

$$F_d \leq F_{US}$$

$$6,10 \text{ kN} < 14,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

8.8 Spoj pažďík – drev. stužidlo (8)

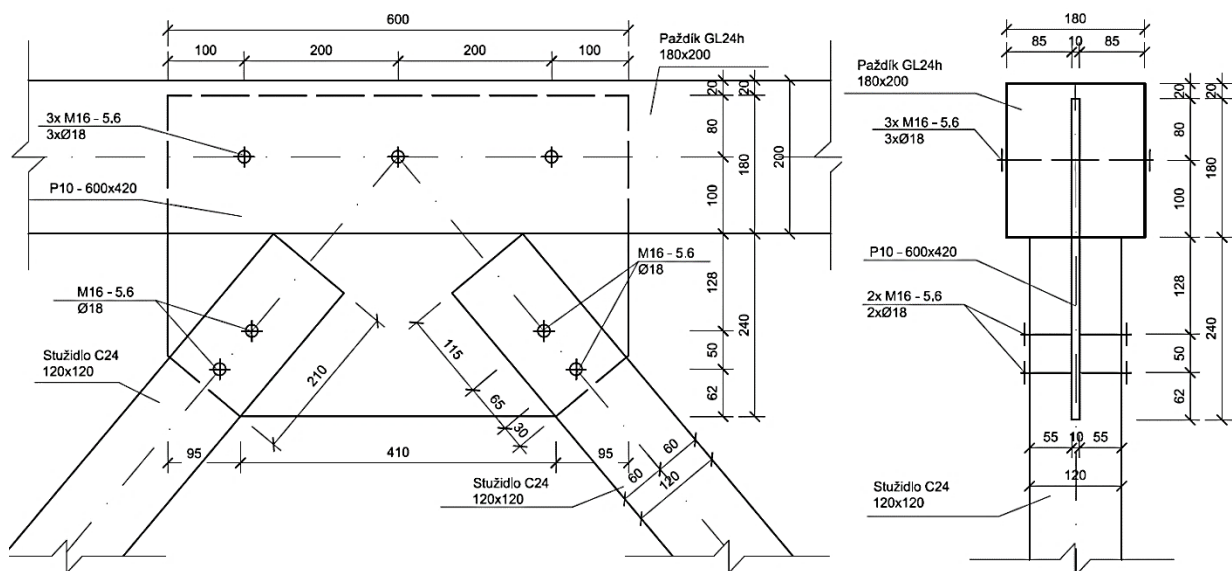
Drevené stužidlo, ktoré má tvar obráteného písmena V, je k fasádnej rozpere (pažďíku) pripojené pomocou styčnčkovej dosky. Doska je v záreze v pažďíku pripevnená 3 ks svorníkmi priemeru 16 mm. Na presahujúcu časť styčnčkovej dosky sú 2 ks svorníkmi pripojené obidve časti stužidla.

- Návrh : Styčnčkový plech: $h = 600 \text{ mm}$, $b = 420 \text{ mm}$, $t = 10 \text{ mm}$

Materiál: Oceľ S355 $f_y = 355 \text{ MPa}$, $f_u = 510 \text{ MPa}$

Svorník: $d = 16 \text{ mm}$, $A_S = 157 \text{ mm}^2$, $d_0 = 18 \text{ mm}$

Materiál: 5.6 $f_{u,b} = 500 \text{ MPa}$, $f_{y,b} = 300 \text{ MPa}$, $\alpha_v = 0,6$



Obrázok 11152: Schéma - Spoj (8) pažďík – drevené stužidlo

- Vnútorné sily : Maximálna ťahová sila : $N_{Ed} = 31,44 \text{ kN}$ (obr. 70)

$$\text{Rozklad sily : } N_{d\parallel} = N_{Ed} \cdot \cos(50^\circ) = 20,21 \text{ kN}$$

$$N_{d\perp} = N_{Ed} \cdot \sin(50^\circ) = 24,08 \text{ kN}$$

1. Svorníkový spoj - pažník

Minimálne vzdialenosti od koncov/okrajov ($\alpha = 90^\circ$)

$$\text{Rovnobežne s vláknami : } a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = 64 \text{ mm}$$

$$\text{Kolmo k vláknám : } a_2 = (4 \cdot d) = 64 \text{ mm}$$

$$\text{Zaťažný koniec : } a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = 112 \text{ mm}$$

$$\text{Nezaťažný okraj : } a_{4,c} = (3 \cdot d) = 48 \text{ mm}$$

Pevnosť v otláčení :

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380 = 26,17 \text{ MPa}$$

$$\text{súčiniteľ } k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59$$

$$f_{h,50,k} = \frac{f_{h,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = 19,44 \text{ MPa}$$

$$\text{Plastický moment únosnosti: } M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,b} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 16^{2,6} = 202676,4 \text{ Nmm}$$

Únosnosť jedného spojovacieho prostriedku :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,50,k} \cdot t_1 \cdot d}{f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,50,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right]} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,50,k} \cdot d} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 26,44 \\ 14,19 \\ 18,26 \end{array} \right\} = 14,19 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 14,19}{1,25} = 10,21 \text{ kN} \Rightarrow \text{dvojstrižný} \Rightarrow F_{v,Rd} = 2 \cdot 10,21 = 20,43 \text{ kN}$$

$$n = 4 \text{ ks} \Rightarrow F_{v,Rd} = 3 \cdot 20,43 = 61,28 \text{ kN}$$

Posúdenie :

$$2 \cdot N_{d\perp} \leq F_{v,Rd}$$

$$48,17 \text{ kN} < 61,28 \text{ kN}$$

Vyhovuje

2. Svorníkový spoj – drevené stužidlo

Minimálne vzdialenosti od koncov/okrajov ($\alpha = 90^\circ$)

$$\text{Rovnobežne s vláknami : } a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d = 64 \text{ mm}$$

$$\text{Kolmo k vláknám : } a_2 = (4 \cdot d) = 64 \text{ mm}$$

$$\text{Zaťažný koniec : } a_{3,t} = \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = 112 \text{ mm}$$

$$\text{Nezaťažný okraj : } a_{4,c} = (3 \cdot d) = 48 \text{ mm}$$

Pevnosť v otláčení :

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 350 = 24,11 \text{ MPa}$$

$$\text{súčiniteľ } k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59$$

$$f_{h,50,k} = \frac{f_{h,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = 17,91 \text{ MPa}$$

Plastický moment únosnosti: $M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,b} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 16^{2,6} = 202676,4 \text{ Nmm}$

Únosnosť jedného spojovacieho prostriedku :

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,50,k} \cdot t_1 \cdot d}{f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,50,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right]} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,50,k} \cdot d} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 15,76 \\ 11,24 \\ 17,53 \end{array} \right\} = 11,24 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 11,24}{1,25} = 8,09 \text{ kN} \Rightarrow \text{dvojstrižný} \Rightarrow F_{v,Rd} = 2 \cdot 8,09 = 16,19 \text{ kN}$$

$$n = 4 \text{ ks} \Rightarrow F_{v,Rd} = 2 \cdot 16,19 = 32,37 \text{ kN}$$

Posúdenie :

$$N_{d\perp} \leq F_{v,Rd}$$

$$24,08 \text{ kN} < 32,37 \text{ kN}$$

Vyhovuje

9 POŽIARNA ODOLNOSŤ NOSNÝCH PRVKOV

V tejto kapitole je overená požiarne odolnosť rozhodujúcich nosných prvkov – väzník, vzpera (stĺp) podľa ČSN EN 1995-1-2 [5] podľa ich únosnosti, kde účinok zaťaženia pri požiarnej situácii je menší ako odpovedajúca odolnosť pri požiaroch. Zvolená je metóda redukovaného prierezu – redukcia prierezu o účinnú hĺbku zuhoľnatenia.

9.1 Väzník

Väzník je v interiéri priznaný a jeho horná hrana je chránená strešnou konštrukciou. Požiaru je teda vystavený z troch strán. Posúdený je na ohyb, šmyk, ohyb s osovým ťahom a ohyb so vzperným tlakom, klopenie, pre požiarne odolnosť R60.

- Účinná hĺbka zuhoľnatenia

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min (LLD pre } 290 \text{ kg/m}^3 \leq \rho) \quad t = 60 \text{ min}$$

$$k_0 = 1,0 \text{ (pre } 20 \text{ min} \leq t) \quad d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,7 \cdot 60 = 42 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 42 + 1 \cdot 7 = 49 \text{ mm}$$

- Prierezové charakteristiky zbytku prierezu

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{ef} = 180 - 2 \cdot 49 = 82 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - d_{ef} = 1400 - 49 = 1351 \text{ mm}$$

$$A_{fi} = b_{fi} \cdot h_{fi} = 82 \cdot 1351 = 110782 \text{ mm}^2$$

$$k_{cr} = 0,67 \text{ (pre LLD)}$$

$$b_{ef,fi} = k_{cr} \cdot b_{fi} = 0,67 \cdot 82 = 54,94 \text{ mm}$$

$$A_{ef,fi} = b_{ef,fi} \cdot h_{fi} = 54,94 \cdot 1351 = 74224 \text{ mm}^2$$

$$W_{y,fi} = \frac{1}{6} \cdot b_{fi} \cdot h_{fi}^2 = \frac{1}{6} \cdot 82 \cdot 1351^2 = 2,49 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

$$W_{z,fi} = \frac{1}{6} \cdot h_{fi} \cdot b_{fi}^2 = \frac{1}{6} \cdot 1351 \cdot 82^2 = 1,51 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_{y,fi} = \frac{1}{12} \cdot b_{fi} \cdot h_{fi}^3 = \frac{1}{12} \cdot 82 \cdot 1351^3 = 1,7 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_{z,fi} = \frac{1}{12} \cdot h_{fi} \cdot b_{fi}^3 = \frac{1}{12} \cdot 1351 \cdot 82^3 = 6,21 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$i_{y,fi} = \sqrt{\frac{I_{y,fi}}{A_{fi}}} = \sqrt{\frac{1,7 \cdot 10^{10}}{110782}} = 390 \text{ mm}$$

$$i_{z,fi} = \sqrt{\frac{I_{z,fi}}{A_{fi}}} = \sqrt{\frac{6,21 \cdot 10^7}{110782}} = 23,67 \text{ mm}$$

1. Napätie v ohybe, napätie v šmyku za požiaru

❖ Vnútorne sily:

Ohybový moment: $M_{fi,d,y} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed,y} = 0,6 \cdot 747,28 = 448,37 \text{ kNm}$

Šmyková sila: $V_{fi,d,z} = \eta_{fi} \cdot V_{Ed,z} = 0,6 \cdot 123,28 = 73,97 \text{ kN}$

❖ Napätie: Ohyb: $\sigma_{m,fi,y,d} = \frac{M_{fi,d,y}}{W_{y,fi} \cdot 10^{-6}} = \frac{448,37}{24,9} = 17,97 \text{ MPa}$

Šmyk: $\tau_{d,fi} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{fi,d,z}}{A_{ef,fi} \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{73,97}{74,223} = 1,49 \text{ MPa}$

❖ Pevnosť dreva: Ohyb: $f_{m,fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 \cdot 1,15 \cdot \frac{28}{1,0} = 32,2 \text{ MPa}$

Šmyk: $f_{v,fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 \cdot 1,15 \cdot \frac{3,5}{1,0} = 4,03 \text{ MPa}$

▪ Posúdenie: Ohyb: $\sigma_{m,fi,y,d} \leq f_{m,fi,d}$
17,97 MPa < 32,2 MPa **Vyhovuje**

Šmyk: $\tau_{d,fi} \leq f_{v,fi,d}$
1,49 MPa < 4,03 MPa **Vyhovuje**

2. Kombinácia ohybu a osového ťahu za požiaru

❖ Vnútorne sily:

Max. ťahová sila: $N_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} = 0,6 \cdot 78,96 = 47,38 \text{ kNm}$

Príslušný ohyb. moment: $M_{fi,d,y} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed,y} = 0,6 \cdot 64,98 = 38,99 \text{ kNm}$

Príslušný ohyb. moment: $M_{fi,d,z} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed,z} = 0,6 \cdot 31,46 = 18,88 \text{ kNm}$

❖ Napätie: Ohyb k ose y: $\sigma_{m,fi,y,d} = \frac{M_{fi,d,y}}{W_{y,fi} \cdot 10^{-6}} = \frac{38,99}{24,9} = 1,56 \text{ MPa}$

Ohyb k ose z: $\sigma_{m,fi,z,d} = \frac{M_{fi,d,z}}{W_{z,fi} \cdot 10^{-6}} = \frac{18,88}{1,51} = 12,47 \text{ MPa}$

Ťah || s vláknami: $\sigma_{t,0,fi,d} = \frac{N_{fi,d}}{A_{fi} \cdot 10^{-3}} = \frac{47,38}{110,782} = 0,43 \text{ MPa}$

❖ Pevnosť dreva: Ohyb: $f_{m,fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 \cdot 1,15 \cdot \frac{28}{1,0} = 32,2 \text{ MPa}$

Ťah ||: $f_{t,0,fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 \cdot 1,15 \cdot \frac{19,5}{1,0} = 22,43 \text{ MPa}$

- **Posúdenie:** Kombinácia ohybu a osového ťahu:

$$\frac{\sigma_{t,0,fi,d}}{f_{t,0,fi,d}} + \frac{\sigma_{m,fi,y,d}}{f_{m,fi,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,fi,z,d}}{f_{m,fi,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,43}{22,43} + \frac{1,56}{32,2} + 0,7 \frac{12,47}{32,2} \leq 1,0$$

0,34 < 1 **Vyhovuje**

$$\frac{\sigma_{t,0,fi,d}}{f_{t,0,fi,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,fi,y,d}}{f_{m,fi,d}} + \frac{\sigma_{m,fi,z,d}}{f_{m,fi,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,43}{22,43} + 0,7 \frac{1,56}{32,2} + \frac{12,47}{32,2} \leq 1,0$$

0,44 < 1 **Vyhovuje**

3. Kombinácia ohybu a vzperného tlaku za požiaru

$L_{cr,y} = 25500$ mm (vybočenie v smere osi y)

$L_{cr,z} = 1860$ mm (vybočenie z smere osi z)

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_{y,fi}} = \frac{25500}{390} = 65,39$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_{z,fi}} = \frac{1860}{23,67} = 78,58$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{65,39}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{10500}} = 1,05$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{78,58}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{26,5}{10500}} = 1,26$$

$\beta_c = 0,1$ (pre LLD drevo)

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 (1,05 - 0,3) + 1,05^2] = 1,08$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 (1,26 - 0,3) + 1,26^2] = 1,34$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,08 + \sqrt{1,08^2 - 1,05^2}} = 0,73$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,34 + \sqrt{1,34^2 - 1,26^2}} = 0,56$$

❖ Vnútorne sily:

Max. ohybový moment: $M_{fi,d,y} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed,y} = 0,6 \cdot 747,28 = 448,37$ kNm

Príslušná ťahová sila: $N_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} = 0,6 \cdot 15,84 = 9,5$ kNm

Príslušný ohyb. moment: $M_{fi,d,z} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed,z} = 0,6 \cdot 9,16 = 5,5$ kNm

❖ Napätie: Ohyb k ose y: $\sigma_{m,fi,y,d} = \frac{M_{fi,d,y}}{W_{y,fi} \cdot 10^{-6}} = \frac{448,37}{24,9} = 17,97 \text{ MPa}$

Ohyb k ose z: $\sigma_{m,fi,z,d} = \frac{M_{fi,d,z}}{W_{z,fi} \cdot 10^{-6}} = \frac{5,50}{1,51} = 3,63 \text{ MPa}$

Tlak \parallel s vláknami: $\sigma_{c,0,fi,d} = \frac{N_{fi,d}}{A_{fi} \cdot 10^{-3}} = \frac{9,50}{110,782} = 0,09 \text{ MPa}$

❖ Pevnosť dreva: Ohyb: $f_{m,fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 \cdot 1,15 \cdot \frac{28}{1,0} = 32,2 \text{ MPa}$

Tlak \parallel : $f_{c,0,fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 \cdot 1,15 \cdot \frac{26,5}{1,0} = 30,48 \text{ MPa}$

- Posúdenie: Kombinácia ohybu a vzperného tlaku:

$$\frac{\sigma_{c,0,fi,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,fi,d}} + \frac{\sigma_{m,fi,z,d}}{f_{m,fi,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,fi,y,d}}{f_{m,fi,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,09}{0,55 \cdot 30,48} + \frac{3,63}{32,2} + 0,7 \frac{17,97}{32,2} \leq 1,0$$

0,51 < 1 **Vyhovuje**

$$\frac{\sigma_{c,0,fi,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,fi,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,fi,z,d}}{f_{m,fi,d}} + \frac{\sigma_{m,fi,y,d}}{f_{m,fi,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{0,09}{0,73 \cdot 30,48} + 0,7 \frac{3,63}{32,2} + \frac{17,97}{32,2} \leq 1,0$$

0,64 < 1 **Vyhovuje**

4. Klopenie (priečna a torzná stabilita) za požiaru

- ❖ Vnútoraná sila:

Max. ohybový moment: $M_{fi,d,y} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed,y} = 0,6 \cdot 747,28 = 448,37 \text{ kNm}$

❖ Kritické napätie: $\sigma_{m,crit} = \frac{0,75 \cdot b_{fi}^2 \cdot E_{0,05}}{h_{fi} \cdot l_{ef}} = \frac{0,75 \cdot 82^2 \cdot 10500}{1351 \cdot 0,9 \cdot 2000} = 21,75 \text{ MPa}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{28}{21,75}} = 1,13$$

$k_{crit} = 0,71$ (pre $\lambda_{rel,m} > 0,75$ a $\lambda_{rel,m} < 1,4$)

- Posúdenie: Klopenie (priečna a torzná stabilita):

$$\frac{\sigma_{m,fi,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,fi,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{17,97}{0,71 \cdot 32,2} \leq 1,0$$

0,79 < 1 **Vyhovuje**

9.2 Vzpera (stĺp)

Navrhnutá vzpera je nechránená. Posúdená je na ohyb, šmyk, kombináciu ohybu so vzperným tlakom a klopenie, rovnako ako väzník pre požiaru odolnosť R60.

▪ Účinná hĺbka zuhoľnatenia

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min (LLD pre } 290 \text{ kg/m}^3 \leq \rho) \quad t = 60 \text{ min}$$

$$k_0 = 1,0 \text{ (pre } 20 \text{ min} \leq t) \quad d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,7 \cdot 60 = 42 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 42 + 1 \cdot 7 = 49 \text{ mm}$$

▪ Prierezové charakteristiky zbytku prierezu

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{ef} = 180 - 2 \cdot 49 = 82 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - 2 \cdot d_{ef} = 800 - 2 \cdot 49 = 702 \text{ mm}$$

$$A_{fi} = b_{fi} \cdot h_{fi} = 82 \cdot 702 = 57564 \text{ mm}^2$$

$$k_{cr} = 0,67 \text{ (pre LLD)}$$

$$b_{ef,fi} = k_{cr} \cdot b_{fi} = 0,67 \cdot 82 = 54,94 \text{ mm}$$

$$A_{ef,fi} = b_{ef,fi} \cdot h_{fi} = 54,94 \cdot 702 = 38568 \text{ mm}^2$$

$$W_{y,fi} = \frac{1}{6} \cdot b_{fi} \cdot h_{fi}^2 = \frac{1}{6} \cdot 82 \cdot 702^2 = 6,73 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{z,fi} = \frac{1}{6} \cdot h_{fi} \cdot b_{fi}^2 = \frac{1}{6} \cdot 702 \cdot 82^2 = 7,87 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$I_{y,fi} = \frac{1}{12} \cdot b_{fi} \cdot h_{fi}^3 = \frac{1}{12} \cdot 82 \cdot 702^3 = 2,36 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{z,fi} = \frac{1}{12} \cdot h_{fi} \cdot b_{fi}^3 = \frac{1}{12} \cdot 702 \cdot 82^3 = 3,23 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$i_{y,fi} = \sqrt{\frac{I_{y,fi}}{A_{fi}}} = \sqrt{\frac{2,36 \cdot 10^9}{57564}} = 202,65 \text{ mm}$$

$$i_{z,fi} = \sqrt{\frac{I_{z,fi}}{A_{fi}}} = \sqrt{\frac{3,23 \cdot 10^7}{57564}} = 23,67 \text{ mm}$$

1. Napätie v ohybe, napätie v šmyku za požiaru

❖ Vnútorne sily:

Ohybový moment: $M_{fi,d,y} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed,y} = 0,6 \cdot 77,58 = 46,55 \text{ kNm}$

Šmyková sila: $V_{fi,d,z} = \eta_{fi} \cdot V_{Ed,z} = 0,6 \cdot 28,81 = 17,29 \text{ kN}$

❖ Napätie: Ohyb: $\sigma_{m,fi,y,d} = \frac{M_{fi,d,y}}{W_{y,fi} \cdot 10^{-6}} = \frac{46,55}{6,73} = 6,91 \text{ MPa}$

$$\text{Šmyk:} \quad \tau_{d,fi} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{fi,d,z}}{A_{ef,fi} \cdot 10^{-3}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{17,49}{38,57} = 0,67 \text{ MPa}$$

$$\diamond \text{ Pevnosť dreva: Ohyb: } f_{m,fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 \cdot 1,15 \cdot \frac{24}{1,0} = 27,60 \text{ MPa}$$

$$\text{Šmyk: } f_{v,fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 \cdot 1,15 \cdot \frac{3,5}{1,0} = 4,03 \text{ MPa}$$

▪ Posúdenie:	Ohyb:	$\sigma_{m,fi,y,d} \leq f_{m,fi,d}$	
		6,91 MPa < 27,60 MPa	Vyhovuje
	Šmyk:	$\tau_{d,fi} \leq f_{v,fi,d}$	
		0,67 MPa < 4,03 MPa	Vyhovuje

2. Kombinácia ohybu a vzperného tlaku za požiaru

$L_{cr,y} = 8990 \text{ mm}$ (vybočenie v smere osi y)

$L_{cr,z} = 2200 \text{ mm}$ (vybočenie z smere osi z)

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_{y,fi}} = \frac{8990}{202,65} = 44,36$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_{z,fi}} = \frac{2200}{23,67} = 92,94$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{44,36}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,71$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{92,94}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,48$$

$\beta_c = 0,1$ (pre LLD drevo)

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1(0,71 - 0,3) + 0,71^2] = 0,77$$

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1(1,48 - 0,3) + 1,48^2] = 1,65$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,77 + \sqrt{0,77^2 - 0,71^2}} = 0,93$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,65 + \sqrt{1,65^2 - 1,48^2}} = 0,42$$

❖ Vnútorne sily:

Max. ohybový moment: $M_{fi,d,y} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed,y} = 0,6 \cdot 77,58 = 46,55 \text{ kNm}$

Príslušná ťahová sila: $N_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot N_{Ed} = 0,6 \cdot 99,86 = 59,92 \text{ kNm}$

Príslušný ohyb. moment: $M_{fi,d,z} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed,z} = 0,6 \cdot 6,13 = 3,68 \text{ kNm}$

❖ Napätie: Ohyb k ose y: $\sigma_{m,fi,y,d} = \frac{M_{fi,d,y}}{W_{y,fi} \cdot 10^{-6}} = \frac{46,55}{6,73} = 6,9 \text{ MPa}$

Ohyb k ose z: $\sigma_{m,fi,z,d} = \frac{M_{fi,d,z}}{W_{z,fi} \cdot 10^{-6}} = \frac{3,68}{0,79} = 4,7 \text{ MPa}$

Tlak || s vláknami: $\sigma_{c,0,fi,d} = \frac{N_{fi,d}}{A_{fi} \cdot 10^{-3}} = \frac{59,92}{57,56} = 1,0 \text{ MPa}$

❖ Pevnosť dreva: Ohyb: $f_{m,fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 \cdot 1,15 \cdot \frac{24}{1,0} = 27,6 \text{ MPa}$

Tlak ||: $f_{c,0,fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1 \cdot 1,15 \cdot \frac{24}{1,0} = 27,6 \text{ MPa}$

▪ Posúdenie: Kombinácia ohybu a vzperného tlaku:

$$\frac{\sigma_{c,0,fi,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,fi,d}} + \frac{\sigma_{m,fi,z,d}}{f_{m,fi,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,fi,y,d}}{f_{m,fi,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{1,0}{0,42 \cdot 27,6} + \frac{4,7}{27,6} + 0,7 \frac{6,9}{27,6} \leq 1,0$$

$$0,43 < 1$$

Vyhovuje

$$\frac{\sigma_{c,0,fi,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,fi,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,fi,z,d}}{f_{m,fi,d}} + \frac{\sigma_{m,fi,y,d}}{f_{m,fi,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{1,0}{0,93 \cdot 27,6} + 0,7 \frac{4,7}{27,6} + \frac{6,9}{27,6} \leq 1,0$$

$$0,41 < 1$$

Vyhovuje

3. Klopenie (priechna a torzná stabilita) za požiaru

❖ Vnútoraná sila:

Max. ohybový moment: $M_{fi,d,y} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed,y} = 0,6 \cdot 77,58 = 46,55 \text{ kNm}$

❖ Kritické napätie: $\sigma_{m,crit} = \frac{0,75 \cdot b_{fi}^2 \cdot E_{0,05}}{h_{fi} \cdot l_{ef}} = \frac{0,75 \cdot 82^2 \cdot 9600}{702 \cdot 0,9 \cdot 8990} = 8,52 \text{ MPa}$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{8,52}} = 1,68$$

$$k_{crit} = 0,36 \text{ (pre } \lambda_{rel,m} > 1,4)$$

▪ Posúdenie: Klopenie (priechna a torzná stabilita):

$$\frac{\sigma_{m,fi,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,fi,d}} \leq 1,0 \Rightarrow \frac{6,9}{0,36 \cdot 27,6} \leq 1,0$$

$$0,71 < 1$$

Vyhovuje

10 MONTÁŽNY POSTUP NOSNÉHO SYSTÉMU HALY

Po úprave terénu a výkopových prácach na mieste realizácie športovej haly, budú vybetónované základové pätky pre drevené stĺpy a základové kalichy pre železobetónové stĺpy. Po osadení a zabetónovaní ŽB stĺpov do kalichu, sa uložia prievlaky a vybetónuje sa základová doska. Na vrchole stĺpov sú pripevnené oceľové dosky s privarenými plechmi zo spodnej časti čapového spoja. Nasleduje uloženie stropných montovaných dielov a zaliievka betónom. Po postavení betónovej časti sa budú osadzovať väzníky so vzperami (stĺpmi).

Na betónových pätkách, určených pre drevené vzpery, budú pomocou kotevných skrutiek, umiestnené pätné plechy. Po zatvrdnutí betónu podliatia budú na plechy privarené spodné časti čapového spoja. Ešte pred osadením sú na stĺpoch zo spodnej časti pripevnené oceľové dosky s privareným horným dielom čapu a na vrchole styčnickový plech v záreze, s čelnou doskou a vyčnievajúcim plechom pre následné osadenie väzníka. Na väzníky sú pripevnené oceľové časti spojov (strmeň na väznicu, rozperu a oceľové dosky na stužidlá, styčnickový plech s čelnou doskou pre čapový spoj nad ŽB stĺpom). Ako prvý sa na pätku, pomocou žeriavu, osadí krajný stĺp a následne sa na jeho vrchol umiestni väzník, ktorý sa na druhom konci pripevní k ŽB stĺpu. Prvky sú zabezpečené dočasným stužením. Po osadení aj druhého stĺpu s väzníkom sa zaistí stabilita montážou väzníc, rozpier a stužidiel. Takto sa postupuje do uloženia všetkých vzpier s väzníkmi.

Po umiestnení všetkých stĺpov, väzníkov, väzníc, rozpier a stužidiel sa na štítovú stranu haly pridávajú štítové stĺpy s rozperami pre umiestnenie obvodového plášťa. Ten sa namontuje po montáži strešného plášťa, tvoreným sendvičovými panelmi.

11 ZÁVER

Hlavnou témou diplomovej práce je statické riešenie nosného systému drevenej športovej haly. Práca sa zaoberá návrhom konštrukcie a následným statickým posúdením jej prvkov a spojov podľa platných noriem.

V úvode práce bol vypracovaný prehľad nosných systémov športových hál z drevených materiálov aj s príkladmi ich použitia na už existujúcich stavbách. V ďalšej časti bolo navrhnuté dispozičné riešenie športovej haly, ktoré muselo vyhovovať vybraným loptovým hrám. Na túto dispozíciu boli vytvorené tri návrhy možného riešenia nosného systému, z ktorých bolo neskôr vybraté jedno riešenie pre následné spracovanie posudku.

Zvolená konštrukcia bola vymodelovaná v programe SCIA Engineer 17.1 s aplikovaným vypočítaným pôsobiacim zaťažením, na základe ktorého boli programom vypočítané vnútorné sily a deformácie.

Hlavná časť diplomovej práce sa zaoberá návrhom a posúdením jednotlivých prvkov a spojov konštrukcie. Rozhodujúce nosné prvky haly boli ďalej posúdené na požiarnu odolnosť. Statické posudky všetkých prvkov a spojov vyhoveli podľa medzných stavov únosnosti či použiteľnosti.

V závere diplomovej práce bol popísaný spôsob postupu montáže nosného systému riešenej haly.

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce, doc. Ing. Antonínovi Lokajovi, Ph.D., za cenné rady a informácie a odbornú pomoc pri riešení problémov. Takisto ďakujem Ing. Davidovi Mikoláškovi, Ph.D. za pomoc pri modelovaní konštrukcie.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] ČSN EN 1991-1-1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-3: *Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [3] ČSN EN 1991-1-4: *Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [4] ČSN EN 1995-1-1: *Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [5] ČSN EN 1995-1-2: *Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [6] ČSN 73 1702: *Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [7] ČSN EN 1993-1-1: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [8] ČSN EN 1992-1-1: *Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [9] Blass, H. J. a kol., překlad Koželouh, B.: *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP 1. Navrhování a konstrukční materiály*. Zlín: KODR, c1998. ISBN 80-238-2620-4.
- [10] Příručka 1 a 2, <http://fast10.vsb.cz/temtis/cz/>, 2008.
- [11] Jirka, V.: *Konstrukční systémy halových staveb. Učební texty předmětu pozemní stavitelství*. Ústav stavitelství I fakulty architektury, 2006.
- [12] SCIA Engineer 17.1. Programový systém pro navrhování konstrukcí. Nemetschek Scia, 2017. Dostupné z: <https://www.scia.net/cs/support/downloads/scia-engineer-17>
- [13] BOVA. Katalog spojovacích prostředků. Dostupné z: <http://www.bova-nail.cz/>
- [14] Vše o střeše – odborný portál [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.vseostrese.cz/>
- [15] Lepené dřevěné konstrukce Tesko [online]. 2008. Dostupné z: <http://www.konstrukce-tesko.cz/>
- [16] Střechy 92, s.r.o. [online]. 2016. Dostupné z: <http://www.strechy92.cz/>
- [17] Topinfo s.r.o. – odborný portál [online]. 2018. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/technologie-staveni-drevostaveb>

- [18] Kingspan Group [online]. 2018. Dostupné z:
<https://www.kingspan.com/sk/sk-sk/produkty/izolacne-sendvicove-panely/>
- [19] Top OSB [online]. 2018. Dostupné z: <https://www.toposb.sk/sortiment/dhf-dosky/>
- [20] ISOVER – izolačný materiál [online]. 2018. Dostupné z:
<https://www.isover.sk/produkty/isover-topsil>
- [21] Timbermax – kompozitné terasové a fasádne dosky [online]. 2018. Dostupné z:
<http://www.timbermax.sk/>
- [22] Tension Systems s.r.o. – ocelové táhla Macalloy [online]. 2014. Dostupné z:
<http://www.tension.cz/produkty/tahla-macalloy>

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1: Základné tvary nosníkov [10]	9
Obrázok 2: Typy prierezov z LLD [11]	9
Obrázok 3: Športová hala v Plzni [15]	10
Obrázok 4: Športová hala RADOSTOVA Luhačovice [16]	11
Obrázok 5: Spoj - MKD systém [16]	12
Obrázok 6: Rám priamy, naklonený, zahnutý	12
Obrázok 7: Rámová konštrukcia telocvične v Jičine [15]	13
Obrázok 8: Telocvična v Jičine - rámový spoj [15]	14
Obrázok 9: a) rám, b) rozkročenie stojok, c) zalamovanie priečle, d) oblúk [11]	14
Obrázok 10: Hala v Bílovci – interiér, montážny stav [17]	15
Obrázok 11: Hala v Bílovci – detail pätného kĺbu [17]	16
Obrázok 12: Návrh I – model [12]	20
Obrázok 13: Návrh I – pôdorys	20
Obrázok 14: Návrh I - statická schéma	21
Obrázok 15: Návrh II – model [12]	22
Obrázok 16: Návrh II - pôdorys	22
Obrázok 17: Návrh II – statická schéma	23
Obrázok 18: Návrh III – statická schéma	23
Obrázok 19: Návrh III - model [12]	24
Obrázok 20: Návrh III – pôdorys	24
Obrázok 21: Pôdorysné rozmery – farebne vyznačené prvky (červená-väzník, modrá-rozpera, zelená-väznica, ružová-ocel. tiahlo)	25
Obrázok 22: Schéma haly v pozdĺžnom smere	26
Obrázok 23: Schéma haly v priečnom smere	26
Obrázok 24: Usporiadanie zaťaženia pre nenaviaty a naviaty sneh - vľavo v pozdĺžnom smere a vpravo v priečnom smere [2]	30
Obrázok 25: Označenie veterných oblastí na zvislej stene - priečny smer	32
Obrázok 26: Označenie veterných oblastí na zvislej stene - pozdĺžny vietor zľava ...	32
Obrázok 27: Označenie veterných oblastí na streche - priečny smer vetra zľava	34
Obrázok 28: Označenie vetrových oblastí na streche - pozdĺžny smer vetra zľava	35
Obrázok 29: Model konštrukcie - SCIA Engineer 17.1	36

Obrázok 30: Popísané prvky konštrukcie	37
Obrázok 31: Návrh prierezu väznice	37
Obrázok 32: Väznica: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,y}$	38
Obrázok 33: Väznica: Maximálna šmyková sila $V_{Ed,z}$	38
Obrázok 34: Väznica: Príslušná tlaková sila N_{Ed} k $M_{Ed,y}$	39
Obrázok 35: Väznica: Maximálna ťahová sila N_{Ed}	40
Obrázok 36: Väznica: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,y}$ k N_{Ed}	40
Obrázok 37: Návrh prierezu rozpery	41
Obrázok 38: Rozpera: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,y}$	42
Obrázok 39: Rozpera: Maximálna šmyková sila $V_{Ed,z}$	42
Obrázok 41: Rozpera: Príslušná šmyková sila $V_{Ed,z}$ k $V_{Ed,y}$	43
Obrázok 42: Rozpera: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,z}$	44
Obrázok 43: Rozpera: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,y}$ k $M_{Ed,z}$	44
Obrázok 44: Rozpera: Maximálna tlaková sila N_{Ed}	45
Obrázok 45: Rozpera: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,y}$ k N_{Ed}	45
Obrázok 46: Návrh prierezu vzpery	47
Obrázok 47: Vzpera: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,y}$	48
Obrázok 48: Vzpera: Maximálna šmyková sila $V_{Ed,z}$	48
Obrázok 49: Vzpera: Príslušná posúvajúca sila $V_{Ed,y}$ k $V_{Ed,z}$	49
Obrázok 50: Vzpera: Príslušná tlaková sila N_{Ed} k $M_{Ed,y}$	50
Obrázok 51: Vzpera: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,z}$ k $M_{Ed,y}$	50
Obrázok 52: Návrh prierezu väzníka	53
Obrázok 53: Väzník: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,y}$	53
Obrázok 54: Väzník: Maximálna šmyková sila $V_{Ed,z}$	54
Obrázok 55: Väzník: Príslušná šmyková sila $V_{Ed,y}$ k $V_{Ed,z}$	54
Obrázok 56: Väzník: Maximálna ťahová sila N_{Ed}	55
Obrázok 57: Väzník: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,y}$ k N_{Ed}	55
Obrázok 58: Väzník: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,z}$ k N_{Ed}	56
Obrázok 59: Väzník: Príslušná tlaková sila N_{Ed} k $M_{Ed,y}$	57
Obrázok 60: Väzník: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,z}$ k $M_{Ed,y}$	57
Obrázok 61: Vzpera: Maximálna tlaková sila N_{Ed} pri väzníku	59
Obrázok 62: Návrh prierezu štítového stĺpu	61
Obrázok 63: Štítový stĺp: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,z}$	62
Obrázok 64: Štítový stĺp: Maximálna šmyková sila $V_{Ed,y}$	62

Obrázok 65: Štítový stĺp: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,y}$	63
Obrázok 66: Štítový stĺp: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,z}$ k $M_{Ed,y}$	63
Obrázok 67: Štítový stĺp: Príslušná tlaková sila N_{Ed} k $M_{Ed,z}$	65
Obrázok 68: Štítový stĺp: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,y}$ k $M_{Ed,z}$	65
Obrázok 69: Návrh prierezu stužidla.....	67
Obrázok 70: Stužidlo: Maximálna osová sila N_{Ed} - ťah	67
Obrázok 71: Stužidlo: Maximálna tlaková sila N_{Ed}	68
Obrázok 72: Stužidlo: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,y}$ k N_{Ed}	69
Obrázok 73: Stužidlo: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,z}$ k N_{Ed}	69
Obrázok 74: Návrh prierezu paždika.....	70
Obrázok 75: Paždík: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,z}$	71
Obrázok 77: Paždík: Príslušná šmyková sila $V_{Ed,z}$ k $V_{Ed,y}$	72
Obrázok 78: Paždík: Príslušná ťahová sila N_{Ed} k $M_{Ed,z}$	73
Obrázok 79: Paždík: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,y}$ k $M_{Ed,z}$	73
Obrázok 80: Paždík: Maximálny ohybový moment $M_{Ed,y}$	74
Obrázok 81: Paždík: Príslušná tlaková sila N_{Ed} k $M_{Ed,y}$	74
Obrázok 82: Paždík: Príslušný ohybový moment $M_{Ed,z}$ k $M_{Ed,y}$	74
Obrázok 83: Návrh prierezu oceľového tiaha	77
Obrázok 84: Materiálové vlastnosti tiahel Macalloy [22]	77
Obrázok 85: Oceľové tiaho: Maximálna ťahová sila N_{Ed}	78
Obrázok 86: Únosnosť tiahel Macalloy 460 [22]	78
Obrázok 87: Číselné zobrazenie riešených spojov	79
Obrázok 88: Strmeň BV/T 11-40 [13].....	79
Obrázok 89: Schéma - Spoj (1) rozpera - väzník	80
Obrázok 90: Rozpera: Maximálna ťahová sila N_{Ed}	80
Obrázok 91: Rozpera: príslušná šmyková sila $V_{Ed,z}$ k N_{Ed}	80
Obrázok 92: Schéma - Spoj (2) väznica - väzník	82
Obrázok 93: Väznica: príslušná šmyková sila $V_{Ed,z}$ k N_{Ed}	82
Obrázok 94: Schéma - Spoj (3) väzník – vzpera	84
Obrázok 95: Väzník: Maximálna osová sila N_{Ed}	84
Obrázok 96: Väzník: Maximálna šmyková sila $V_{Ed,z}$	84
Obrázok 97: Schéma - Spoj (4) väzník – tiahlá.....	87
Obrázok 98: Geometrické vlastnosti tiahel Macalloy 460 [22].....	89
Obrázok 99: Schéma - Spoj (5) väzník – ŽB stĺp.....	90

Obrázok 100: Väzník: Príslušná šmyková sila $V_{Ed,z}$ k N_{Ed}	91
Obrázok 101: Väzník: Príslušná tlaková sila N_{Ed} k $V_{Ed,z}$	91
Obrázok 102: Schéma - Spoj (6) vzpera – ŽB päťka	95
Obrázok 103: Vzpera: Maximálna ťahová sila N_{Ed}	96
Obrázok 104: Vzpera: Maximálna tlaková sila N_{Ed}	96
Obrázok 105: Vzpera: Príslušná šmyková sila $V_{Ed,y}$ k N_{Ed}	96
Obrázok 106: Schéma - Spoj (7) vzpera - paždík	101
Obrázok 107: Paždík: maximálna ťahová sila N_{Ed}	101
Obrázok 108: Paždík: maximálna šmyková sila $V_{Ed,y}$	101
Obrázok 109: Paždík: príslušná šmyková sila $V_{Ed,y}$ k N_{Ed}	102
Obrázok 110: Paždík: príslušná šmyková sila $V_{Ed,z}$ k $V_{Ed,y}$	102
Obrázok 111: Schéma - Spoj (8) paždík – drevené stužidlo	103

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 – Zaťažovacie stavy LC2 – LC14 z programu SCIA Engineer 17.1

Príloha 2 – Deformácie od zaťažovacích stavov

Príloha 3 – Výkresová dokumentácia:

- Výkres číslo 1: Pôdorys 1. NP
- Výkres číslo 2: Pôdorys 2. NP
- Výkres číslo 3: Pôdorys haly + rez
- Výkres číslo 4: Pohľady
- Výkres číslo 5: Detail spoja (1) a (2)
- Výkres číslo 6: Detail spoja (3)
- Výkres číslo 7: Detail spoja (4)
- Výkres číslo 8: Detail spoja (5)
- Výkres číslo 9: Detail spoja (6)
- Výkres číslo 10: Detail spoja (7)
- Výkres číslo 11: Detail spoja (8)